ENERGÉTICA IND.E COM. LTDA.
Rua Gravataí, 99 – Rocha
CEP 20975-030 Rio de Janeiro – RJ
CNPJ 29.341.583/0001-04 – IE 82.846.190
Fone: (0xx21) 3797-9800; Fax: (0xx21) 2241-1354
www.energetica.ind.br

MÉTODO 5 - DETERMINAÇÃO DE EMISSÕES DE PARTICULADO DE FONTES ESTACONÁRIAS

TRADUÇÃO DO ORIGINAL:

Determination of Particulate Emissions from Stationary Sources

contido no 40 CFR 60, Apêndice A, Método 5

Responsável:

Tradução: José Walderley Coêlho Dias

Rio de Janeiro
19 de Abril de 2011

PREFÁCIO

O Método 5 da US EPA, para a determinação de emissões material particulado de fontes estacionárias, tem uma importância significativa no Brasil, visto que serviu de base para a elaboração de dois métodos da ABNT, utilizados no Brasil para a amostragem em chaminés, quais sejam:

- MB-3355 (dez./1990) – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de material particulado
- NBR 12020 (abr./1992) – Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias – Calibração dos equipamentos utilizados em amostragem.

Ao traduzirmos o Método 5 da EPA na íntegra nossa intenção é a de facilitar a leitura de um documento que pode trazer à luz muitas particularidades em amostragem em dutos e chaminés que não estão tão claras nos documentos da ABNT, como, por exemplo, os critérios de aceitação e a freqüência de calibração (ou ensaio) do gasômetro seco.

A tradução será divulgada por informativos ENERGÉTICA, pelo sítio www.energetica.com.ind ou a pedido do cliente.

ÍNDICE

1. PRINCÍPIO E APLICABILIDADE

1.1 Princípio

Material particulado é puxado isocineticamente da fonte e coletado num filtro de fibra de vidro mantido a uma temperatura na faixa de 120 ± 14° C, ou a uma outra temperatura conforme especificado por uma subparte aplicável dos padrões ou aprovado pelo Órgão Oficial, a U.S. Environmental Protection Agency, para uma determinada aplicação. A massa de particulado, que inclui qualquer material que condense a ou acima da temperatura do filtro, é determinada gravimetricamente após a remoção de água não combinada.

1.2 Aplicabilidade

Este método é aplicável à determinação de emissões de material particulado de fontes estacionárias.

2. APARELHAGEM

2.1 Trem de Amostragem

Um desenho esquemático do trem de amostragem usado neste método é mostrado na Figura 5-1. Detalhes completos da construção são apresentados em APTD-0581 (Referência 2 na Bibliografia); modelos comerciais deste trem encontram-se também disponíveis. Para alterações com relação ao especificado no APTD-0581 e para modificações permissíveis do trem mostrado na Figura 5-1, ver as seguintes subseções.

Os procedimentos de operação e manutenção para o trem de amostragem estão descritos em APTD-0576 (Referência 3 na Bibliografia). Visto que é importante o uso correto para que se obtenha resultados válidos, o usuário deve ler o APTD-0576 e adotar os procedimentos de operação e manutenção nele apresentados, a menos que seja especificado de outra forma neste documento. O trem de amostragem é constituído dos seguintes componentes:

2.1.1 **Boquilha da Sonda**.

Aço inoxidável (316) ou vidro, borda chanfrada e afiada. O ângulo do chanfro deve ser <30° e o chanfro deve ficar no lado externo a fim de se preservar um diâmetro interno constante. A boquilha da sonda deverá ter a forma de botão-gancho ou de joelho, a menos que especificado de outra forma pelo Órgão Oficial. Se feita de aço inox, a boquilha deverá ser construída de tubo sem costura; outros materiais de construção podem ser usados, sujeitos à aprovação do Órgão Oficial.

Uma faixa de tamanhos de boquilha, adequados para amostragem isocinética, deve estar disponível, por exemplo, com diâmetro interno de 0,32 a 1,27 cm – ou maior, caso sejam usados trens de amostragem de maior volume –, em incrementos de 0,16 cm. Cada boquilha deve ser calibrada de acordo com procedimentos apresentados na Seção 5.

2.1.2 Revestimento Interno da Sonda

Tubo em vidro de borossilicato ou de quartzo, com sistema de aquecimento capaz de manter a temperatura dos gases na extremidade da saída durante a amostragem na faixa de 120 ± 14° C, ou outra temperatura conforme especificado por uma subparte aplicável dos padrões ou aprovado pelo Órgão Oficial para uma determinada aplicação. (O técnico de amostragem pode optar por operar o equipamento a uma temperatura mais baixa do que a especificada.) Como, geralmente, a temperatura real na saída da sonda não é monitorada durante a amostragem, as sondas construídas de acordo com APTD-0581 e utilizando as curvas de calibração de APTD-0576 (ou calibradas de acordo com o procedimento apresentado em APTD-0576) são consideradas aceitáveis.

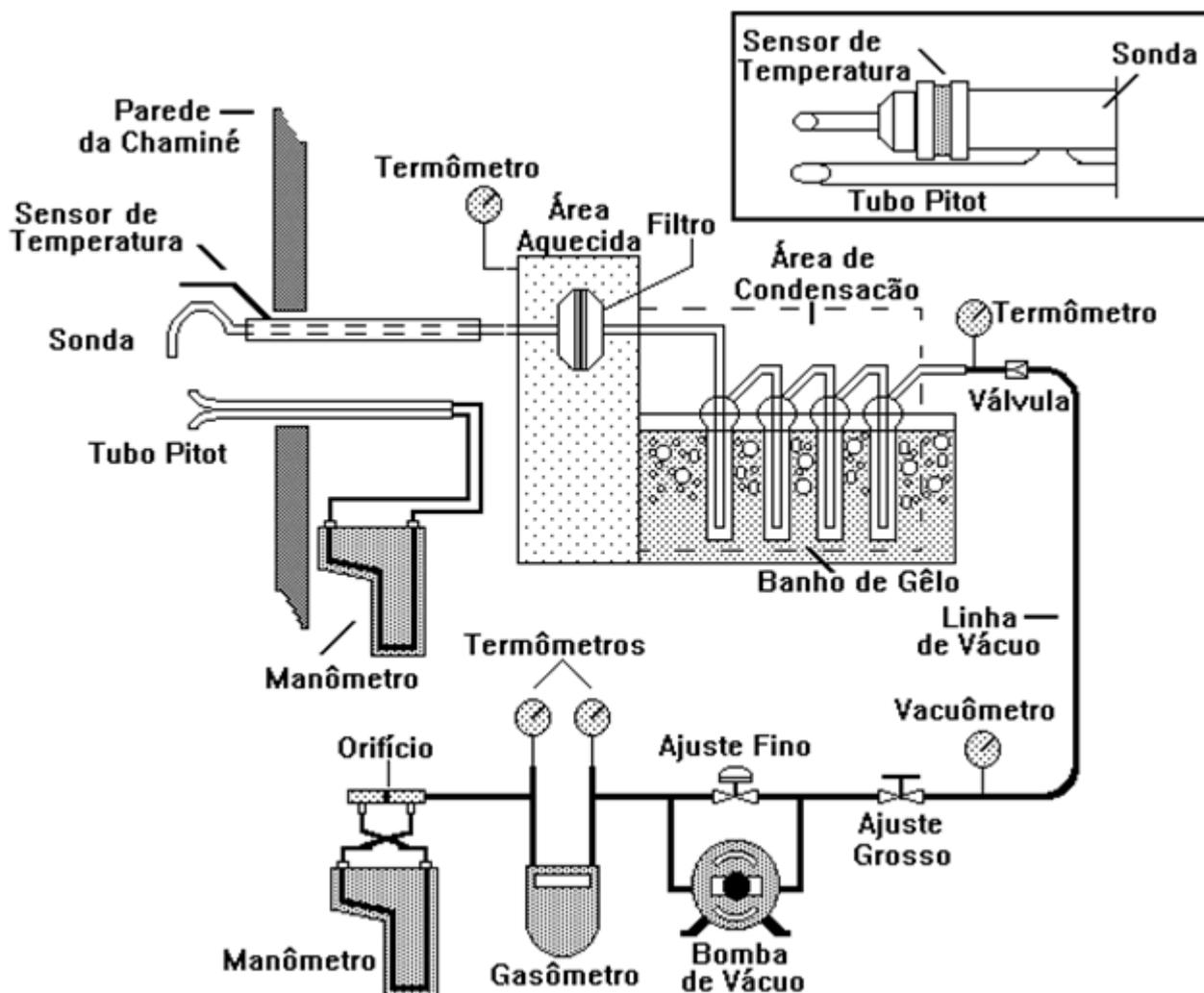



Figura 5-1 Trem de amostragem de particulado

Revestimento interno da sonda feito de borossilicato ou de quartzo pode ser usado sob temperaturas de chaminé de até 480° C; o de quartzo poderá ser usado sob temperaturas entre 480° C e 900° C. Ambos os tipos de revestimento podem ser usados sob temperaturas mais altas do que as especificadas para curtos períodos de tempo, sujeitos à aprovação do Órgão Oficial. A temperatura de amolecimento [softening) para borossilicato é 820° C, e para quartzo, 1.500° C.

Toda vez que prático, todo o esforço deve ser feito para usar sonda com revestimento interno de borossilicato ou de quartzo. Como alternativa, pode-se usar revestimentos metálicos (por exemplo, aço inoxidável 316, Inconel 825 ou outros metais resistentes à corrosão) feitos de tubo sem costura, sujeitos à aprovação do Órgão Oficial.

2.1.3 Tubo Pitot

Tipo S, conforme descrito na Seção 2.1 do Método 2, ou outro dispositivo aprovado pelo Órgão Oficial. O tubo pitot deve ser preso à sonda (conforme mostrado na Figura 5-1) para permitir monitoramento constante da velocidade dos gases na chaminé. O plano de abertura de impacto (alta pressão) do tubo pitot deve estar ao mesmo nível ou acima do plano de entrada da boquilha (ver Método 2, Figura 2-6b). O tubo pitot tipo S deve ter um coeficiente conhecido, determinado conforme descrito na Seção 4 do Método 2.

2.1.4 Medidor de Pressão Diferencial (Manômetro)

Manômetro inclinado ou dispositivo equivalente (duplo), conforme descrito na Seção 2.2 do Método 2. Um manômetro deve ser usado para leituras da pressão de velocidade (ΔP) e o outro, para leituras da pressão diferencial no orifício (ΔH).

2.1.5 Porta-filtro

Vidro de borossilicato, com um suporte de vidro sinterizado para o filtro e uma junta de borracha de silicone. Outros materiais de construção (por exemplo, aço inoxidável, PTFE, Viton) podem ser usados, sujeitos à aprovação do Órgão Oficial. O projeto do porta-filtro deve prover vedação positiva contra infiltração de fora ou em torno do filtro. O porta-filtro deve ser posicionado logo na saída da sonda (ou ciclone, se usado).

2.1.6 Sistema de Aquecimento do Filtro

Qualquer sistema de aquecimento capaz de manter, durante a amostragem, uma temperatura de 120±14° C em torno do porta-filtro, ou uma outra temperatura conforme especificada por uma subparte aplicável dos padrões ou aprovada pelo Órgão Oficial para uma determinada aplicação. Como alternativa, o técnico de amostragem pode optar por operar o equipamento a uma temperatura mais baixa do que a especificada. Um medidor de temperatura capaz de medir temperatura com aproximação de 3° C deve ser instalado de modo que a temperatura em torno do porta-filtro possa ser regulada e monitorada durante e amostragem. Outros sistemas de aquecimento, diferentes do mostrado em APTD-0581, podem ser usados.

2.1.7 Condensador

O seguinte sistema deve ser usado para se determinar o teor de umidade dos gases na chaminé: Quatro frascos borbulhadores conectados em série, com conexões em vidro esmerilhado, livres de vazamento, ou quaisquer conexões similares, não contaminantes e livres de vazamento. O primeiro, terceiro e quarto frascos borbulhadores devem ser do tipo Greenburg-Smith, modificado substituindo-se a ponta por um tubo com 1,3 cm de diâmetro interno e estendendo-se até 1,3 cm do fundo do frasco. O segundo frasco borbulhador deve ser do tipo Greenburg-Smith com ponta padrão. Modificações (por exemplo, usando conexões flexíveis entre os frascos borbulhadores, usando material diferente de vidro, ou usando mangueiras flexíveis para conectar o porta-filtro ao condensador) podem ser usadas, sujeitas á aprovação do Órgão Oficial. O primeiro e segundo frascos borbulhadores devem conter quantidades conhecidas de água (Seção 4.1.3), o terceiro deve estar vazio e o quarto deve conter um peso conhecido de sílica-gel ou um dessecante equivalente. Um termômetro, capaz de medir temperaturas com aproximação de 1° C, deve ser instalado na saída do quarto frasco borbulhador para fins de monitoramento. Alternativamente, pode ser usado qualquer sistema que resfrie o fluxo dos gases de amostragem e permita a medição da água condensada e a umidade deixando o condensador, cada um dentro de ±1 mL ou ±1 g, sujeito à aprovação do Órgão Oficial. É aceitável medir a água condensada, gravimétrica ou volumetricamente, e medir a umidade na saída do condensador (1) monitorando a temperatura e a pressão na saída do condensador e usando a lei das pressões parciais de Dalton; ou (2) passando o fluxo dos gases de amostragem através de um trape tarado de sílica-gel (ou dessecante similar), com os gases na saída sendo mantidos abaixo de 20° C e determinando-se o ganho em peso.

Caso sejam usados outros meios que a sílica-gel para se determinar o teor de umidade na saída do condensador, recomenda-se que se use sílica-gel (ou equivalente) também entre o sistema de condensação e a bomba, evitando-se, assim, condensação de umidade na bomba e nos dispositivos de medição, por conseguinte evitando-se a necessidade de se fazer correções de umidade no volume medido.

Nota: O sistema de frascos borbulhadores descrito acima, sem modificações, deve ser usado caso se deseje determinar o material particulado coletado nos frascos borbulhadores além do teor de umidade. Deve-se contactar os estados ou agências de controle que fazem esta exigência de informação a respeito da coleta das amostras e das análises dos frascos borbulhadores.

2.1.8 Sistema de Medição (Caixa de Controle)

Vacuômetro, bomba sem vazamento, termômetros capazes de medir temperaturas dentro de 3° C, gasômetro seco capaz de medir volume dentro de 2 % e equipamentos afins são mostrados na Figura 5-1. Outros sistemas de medição, capazes de manter vazões dentro de 10 % de isocineticidade e de determinar volumes de amostra dentro de 2 % podem ser usados, sujeitos à aprovação do Órgão Oficial. O uso de um tubo pitot em conjunto com a caixa de controle possibilita verificações das taxas de isocineticidade.

Trens de amostragem com caixas de controle para vazões mais altas do que o descrito em APTD-0581 ou APTD-0576 podem ser usados, contanto que sejam satisfeitas as especificações deste método.

2.1.9 Barômetro

Aneroide de mercúrio, ou outro barômetro capaz de medir pressão atmosférica dentro de 2,5 mm Hg. Em muitos casos, a leitura do barômetro pode ser obtida de uma Estação Nacional de Serviços de Meteorologia próxima, caso no qual deve-se pegar o valor da estação (que é a pressão barométrica absoluta) e aplicar um ajuste para a diferença de elevação entre a estação meteorológica e o ponto de amostragem, ajuste este de menos 2,5 mm Hg para cada incremento de 30 m na elevação, ou, vice versa, mais 2,5 mm Hg para cada decremento de 30 m na elevação.

2.1.10 Equipamento de Determinação da Densidade do Gás

Sensor de temperatura e medidor de pressão, conforme descrito nas Seções 2.3 e 2.4 do Método 2, e, se necessário, analisador de gás, conforme descrito no Método 3. O sensor de temperatura deve, de preferência, ser permanentemente preso ao tubo pitot ou à sonda de amostragem numa configuração fixa, tal que a ponta do sensor se estenda além da extremidade anterior do envoltório (tubo externo) e não toque qualquer metal. Alternativamente, o sensor pode ser montado logo antes do uso no campo. Observe, contudo, que se o sensor de temperatura é montado no campo, ele deve ser montado num arranjo livre de interferência com respeito às aberturas do tubo pitot tipo S (ver Método 2, Figura 2-7). Como uma segunda opção, caso não seja permitido introduzir-se mais que 1 % de diferença na medição da velocidade média, aí o medidor de temperatura não precisa ficar preso á sonda ou ao tubo pitot. (Esta alternativa está sujeita à aprovação do Órgão Oficial.)

2.2 Recolhimento da Amostra

Os seguintes itens são necessários.

2.2.1 Revestimento Interno da Sonda e Escovas da Boquilha da Sonda

Escovas com cerdas de náilon e cabo feito de arame de aço inoxidável. A escova da sonda deve ter extensão (pelo menos tão comprida quanto a sonda) de aço inoxidável, náilon, PTFE ou outro material igualmente inerte. As escovas devem ser adequadamente desenhadas e dimensionadas a fim de que com ela se limpe o revestimento interno e a boquilha da sonda.

2.2.2 Frascos de Lavagem – Dois

Recomenda-se frascos de lavagem de vidro; podem ser usados frascos de lavagem de polietileno, a critério do técnico de amostragem. Recomenda-se que a acetona não seja guardada em frascos

de polietileno por mais de um mês.

2.2.3 Recipientes de Vidro para Armazenagem de Amostras

Frascos de vidro de borossilicato, resistentes quimicamente, para lavagens de acetona, 500 mL ou 1.000 mL. A tampa rosqueável deve ser revestida, ou com PTFE emborrachado, ou deve ser construída de modo a proporcionar boa vedação (não permita vazamento) e ser resistente a ataque químico pela acetona. (Tem-se observado que frascos de vidro com boca pequena são menos suscetíveis a vazamento.) Alternativamente, pode-se usar frascos de polietileno.

2.2.4 Placas de Petri

Para amostras de filtro, vidro ou polietileno, a menos que especificado pelo Órgão Oficial.

2.2.5 Cilindro Graduado e/ou Balança

Para medir água condensada com aproximação de ±1 mL ou ±1 g. Cilindros graduados devem ter subdivisões menores que 2 mL. A maioria das balanças de laboratório é adequada para pesagem com aproximação de ±0,5 g ou menos. Qualquer uma delas é adequada para uso aqui e na Seção 2.3.4.

2.2.6 Recipientes de Plástico para Armazenagem

Recipientes herméticos para armazenagem de sílica-gel.

2.2.7 Funil e Bastão Policial de Borracha

Para facilitar a colocação da sílica-gel num recipiente; não necessários se a sílica-gel for pesada no campo.

2.2.8 Funil

Vidro ou polietileno, para auxiliar no recolhimento de amostras.

2.3 Análises

Para análises, os seguintes equipamentos são necessários.

2.3.1 Placa de Vidro para Pesagens

2.3.2 Dessecador

2.3.3 Balança analítica

Para pesar com aproximação de ±0,1 mg.

2.3.4 Balança

Para pesar com aproximação de ±0,5 g.

2.3.5 Béqueres

2.3.6 Higrômetro

Para medir a umidade relativa do ambiente no laboratório.

2.3.7 Medidor de Temperatura

Para medir a temperatura do ambiente no laboratório.

3. REAGENTES

3.1 Amostragem

São os seguintes os reagentes utilizados na amostragem:

3.3.1 Filtros

Filtros de fibra de vidro, sem aglutinante orgânico, exibindo pelo menos 99,95 % de eficiência (penetração de <0,05) para partículas de ftalato de dioctila de 0,3 micrômetros. O teste de eficiência do filtro deve ser conduzido de acordo com o Método Padrão D2986-71 (reaprovado em 1978) da ASTM (incorporado por referência – ver § 60.17). Os dados de teste do programa de controle da qualidade do fornecedor são suficientes para este fim. Em fontes que contenham SO_2, ou SO_3, o meio filtrante não deve ser reativo ao SO_2 ou SO_3. Pode-se usar a Referência 10 na Seção 7 (Bibliografia) para selecionar o filtro adequado.

3.1.2 Sílica-Gel

Tipo indicativo, malha [mesh] de 6 a 16. Se utilizada anteriormente, a sílica-gel deve ser secada a 175°C por 2 horas. Sílica-gel nova pode ser usada conforme recebida. Alternativamente, outros tipos de dessecante (equivalentes ou melhores) podem ser usados, sujeitos à aprovação do Órgão Oficial.

3.1.3 Água

Deve-se utilizar água destilada quando for exigida a análise do material que fica nos frascos borbulhadores. Faça análises do branco antes do uso no campo a fim de evitar altos valores do branco nas amostras.

3.1.4 Gelo Triturado

3.1.5 Graxa de Torneira [Stopcock]

Graxa de silicone, insolúvel em acetona, estável ao calor. Não é necessária quando forem usados conectores com bucha de PTFE rosqueáveis, ou similares. Alternativamente, outros tipos de graxa de vedação podem ser usados, sujeitos à aprovação do Órgão Oficial.

3.2 Recolhimento da Amostra

Acetona grau reagente, <0,001 % de resíduo, em frascos de vidro, é exigida. Acetona de recipientes metálicos geralmente tem um alto branco residual e não deve ser usada. Algumas vezes, os fornecedores transferem acetona de recipientes metálicos para frascos de vidro; assim, devem ser feitas análises do branco antes do uso no campo e apenas acetona com valores do branco baixos (<0,001 %) poderá ser usada. Em nenhuma hipótese deve-se usar um valor do branco maior que 0,001 % do peso da acetona para subtraí-lo do peso da amostra.

3.3 Análises

São necessários dois reagentes para estas análises:

3.3.1 Acetona

Mesma que em 3.2.

3.3.2 Dessecante

Sulfato de cálcio anidro, tipo indicativo. Outros tipos de dessecante podem ser usados alternativamente, sujeitos à aprovação do Órgão Oficial.

4. PROCEDIMENTO

4.1 Amostragem

A complexidade deste método é tal que, a fim de obter resultados confiáveis, os técnicos de amostragem devem ser treinados e familiarizados com os procedimentos de amostragem.

4.1.1 Preparação Pré-Amostragem

É recomendado que o equipamento de amostragem seja mantido de acordo com o procedimento descrito em APTD-0576.

Pese várias porções de 200 a 300 g de sílica-gel em recipientes herméticos com aproximação de 0,5 g. Anote o peso total da sílica-gel com o recipiente, para cada recipiente. Como alternativa, a sílica-gel não precisa ser pré-pesada, podendo ser pesada diretamente no frasco borbulhador ou no porta-amostragem [sampling holder] antes da montagem do trem.

Verifique os filtros visualmente contra a luz e procure identificar irregularidades e falhas ou furos por onde possa ocorrer infiltração. Utilizando um marcador a tinta para numeração, identifique os filtros de diâmetro apropriado na sua parte de trás, próximo à borda. Como alternativa, identifique os recipientes de transporte (placas de Petri, de vidro ou de plástico) e mantenha os filtros nestes recipientes todo o tempo, exceto durante a amostragem e a pesagem.

Desseque os filtros a 20±5,6° C e a pressão ambiente por pelo menos 24 horas e pese-os em intervalos de pelo menos 6 horas a um peso constante, isto é, alteração máxima de 0,5 mg com relação à pesagem anterior; anote os resultados com aproximação de 0,1 mg. Durante cada pesagem, o filtro não deve ficar exposto à atmosfera do laboratório por um período superior a 2 minutos e a uma umidade relativa superior a 50 %. Alternativamente (a menos que especificado de outra maneira pelo Órgão Oficial), os filtros podem ser secados em estufa a 105 ° C por 2 a 3 horas, dessecados por 2 horas e pesados. Procedimentos que não sejam os descritos, que levem em consideração os efeitos da umidade relativa, podem ser usados, sujeitos aprovação do Órgão Oficial.

4.1.2 Determinações Preliminares

Escolha o local de amostragem e o número mínimo de pontos de amostragem, de acordo com o Método 1, ou conforme especificado pelo Órgão Oficial. Determine a pressão e a temperatura na chaminé e a faixa de pressões de velocidade usando o Método 2; recomenda-se realizar a verificação de vazamentos nas linhas do tubo pitot. Determine o teor de umidade usando a Aproximação do Método 4, ou suas alternativas, a fim de que se possa estabelecer os pontos de amostragem isocinética. Determine o peso molecular seco dos gases na chaminé, conforme descrito no Método 2, Seção 3.6; se o Método 3 integrado for usado para determinação do peso molecular, a amostra da bolsa integrada [integrated bag] deve ser tomada simultaneamente, e pelo mesmo período de tempo total, com a rodada de amostragem sendo realizada.

Selecione uma boquilha com um certo diâmetro com base na faixa de pressões de velocidade, de tal forma que não seja necessário trocar a boquilha por outra de outro diâmetro a fim de manter as taxas de amostragem isocinética. Durante a rodada, não troque de boquilha. Certifique-se de que o medidor de pressão de velocidade (o manômetro) seja adequado para a faixa de pressões de velocidade observadas (ver Seção 2.2 do Método 2).

Escolha uma sonda com revestimento interno adequado e com comprimento tal que se possa amostrar em todos os pontos transversais (traverse points). Para chaminés muito grandes, considere amostrar de lados opostos da chaminé, a fim de se trabalhar com sondas de comprimento reduzido.

Escolha um tempo de amostragem total maior que ou igual ao tempo de amostragem total mínimo especificado nos procedimentos de amostragem para a indústria em particular de modo que (1) o tempo de amostragem por ponto não seja menor que 2 minutos (ou outro intervalo de tempo maior especificado pelo Órgão Oficial), e (2) o volume de amostra tomado (corrigido para condições padrão) não exceda o volume de amostra de gás total mínimo exigido. O último é baseado numa taxa de amostragem média aproximada.

É recomendado que o número de minutos de amostragem em cada ponto seja inteiro, ou inteiro mais meio minuto, a fim de evitar erros com medição de tempo. O tempo de amostragem em cada ponto deverá ser o mesmo.

Em algumas situações, por exemplo, ciclos de batelada, pode ser necessário amostrar a tempos mais curtos nos pontos transversais e obter volumes menores de amostra de gás. Nestes casos, deve-se primeiro obter a aprovação do Órgão Oficial.

4.1.3 Preparação do Trem de Coleta

Durante a preparação e montagem do trem de amostragem, até que se inicie a montagem ou a amostragem, mantenha cobertas e protegidas todas as aberturas onde possa ocorrer contaminação.

Coloque 100 mL de água em cada um dos dois primeiros frascos borbulhadores, deixe o terceiro frasco borbulhador vazio e transfira 200 a 300 g de sílica-gel pré-pesada de seu recipiente para o quarto frasco borbulhador. Mais sílica-gel pode ser usada, mas deve-se ter o cuidado para que não seja arrastada e levada para fora do frasco borbulhador durante a amostragem. Coloque o recipiente num lugar limpo para uso posterior no recolhimento da amostra. Alternativamente, o peso da sílica-gel junto com o do frasco borbulhador pode ser determinado com aproximação de 0,5 g e anotado na folha de registro

Usando uma pinça ou luvas cirúrgicas descartáveis, coloque uma etiqueta (identificada) e o filtro pesado num porta-filtro. Certifique-se de que o filtro esteja adequadamente centrado e de que a junta esteja adequadament posicionada, assim evitando-se que o fluxo de gases de amostragem contorne o filtro. Verifique o filtro quanto a rasgos após terminar a montagem.

No caso de sondas com revestimento interno de vidro, instale a boquilha selecionada usando um o-ring de Viton A quando as temperaturas da chaminé se mantiverem em menos de 260° C e uma gaxeta tecida em asbesto quando as temperaturas na chaminé forem mais altas. Ver detalhes em APTD-0576. Outros sistemas de conexão usando arruela de aço inoxidável 316 ou de PTFE podem ser usados. No caso de revestimentos de metal, instale a boquilha conforme acima ou usando uma conexão mecânica direta livre de vazamento. Marque a sonda com uma fita resistente ao calor, ou com outro método, para definir a distância apropriada para cada ponto de amostragem dentro da chaminé ou duto.

Prepare o trem conforme a Figura 5-1, usando (se necessário) uma camada bem leve de graxa de silicone em todas as juntas de vidro esmerilhadas, passando graxa apenas na porção exterior (ver APTD-0576), evitando, assim, uma possível contaminação pela graxa de silicone. Sujeito à aprovação do Órgão Oficial, pode-se usar um ciclone de vidro entre a sonda e o porta-filtro quando se prevê a captação de material particulado acima de 100 mg ou a presença de gotas d'água nos gases na chaminé.

Coloque gelo triturado em volta dos frascos borbulhadores.

4.1.4 Procedimentos de Verificação de Vazamentos

4.1.4.1 Verificação Pré-Amostragem de Vazamentos

Uma verificação de vazamentos antes da amostragem é recomendada, mas não exigida. Caso o profissional de amostragem opte por conduzir a verificação de vazamentos pré-amostragem, o seguinte procedimento deve ser seguido.

Após montado o trem de amostragem, ligue e ajuste os sistemas de aquecimento do filtro e da sonda para as temperaturas de operação desejadas. Dê tempo para que a temperatura se estabilize. Se for usado o-ring de Viton ou outra conexão livre de vazamentos na instalação da boquilha no revestimento interno da sonda, verifique se há vazamentos no trem no local de amostragem tampando a boquilha e puxando um vácuo de 380 mm Hg.

Nota: Pode-se usar vácuo mais baixo, contanto que não seja excedido na amostragem.

Se forem utilizados fios de asbestos, não conecte a sonda no trem durante a verificação de vazamentos. Em vez disso, verifique se há vazamentos no trem primeiramente tampando a entrada do porta-filtro (ciclone, se aplicável) e puxando 380 mm Hg de vácuo (ver a Nota imediatamente acima). Conecte então a sonda ao trem e verifique se há vazamentos a aproximadamente 25 mm Hg de vácuo; alternativamente, a sonda pode ser verificada quanto a vazamentos com o resto do trem de amostragem, em um passo, a 380 mm Hg de vácuo. São inaceitáveis taxas de vazamento em excesso de 4 % da taxa de amostragem média, ou 0,00057 m^3/min [~6 L/min], o que for menor.

As seguintes instruções de verificação de vazamentos para o trem de amostragem descrito em APTD-0576 e APTD-0581 podem ser úteis. Ligue a bomba com a válvula bypass (válvula de ajuste fino) da bomba completamente aberta e a válvula de ajuste grosso completamente fechada. Abra parcialmente a válvula de ajuste grosso e lentamente feche a válvula de ajuste fino até atingir o vácuo desejado. Não inverta o sentido da válvula de ajuste fino, pois pode causar o retorno de água para o porta-filtro. Caso o vácuo desejado seja excedido, verifique se há vazamentos com este vácuo mais alto ou interrompa a verificação de vazamentos como mostrado abaixo e comece tudo de novo.

Quando terminada a verificação de vazamentos, primeiramente remova lentamente o tampão da entrada para a sonda, porta-filtro ou ciclone (se aplicável) e imediatamente desligue a bomba de vácuo. Isso evita que a água nos frascos borbulhadores seja forçada de volta para o porta-filtro e que sílica-gel seja arrastada de volta para o terceiro frasco borbulhador.

4.1.4.2 Verificações de Vazamentos Durante Rodadas de Amostragem

Se, durante a rodada de amostragem, tornar-se necessária a troca de um componente (por exemplo, conjunto do filtro ou frasco borbulhador), dever-se-á então conduzir uma verificação de vazamentos imediatamente, antes que a troca seja realizada. A verificação de vazamentos deve ser feita de acordo com o procedimento esboçado na Seção 4.1.4.1 acima, exceto que deverá ser feita a um vácuo igual a ou maior que o valor máximo registrado até aquele ponto na amostragem. Se a taxa de vazamento observada não for maior que 0,00057 m^3/min, ou 4 % da taxa de amostragem média (o que for menor), os resultados são considerados aceitáveis, não sendo necessária nenhuma correção no volume total lido no gasômetro seco; se, contudo, obtiver-se uma taxa de vazamento mais alta, o técnico de amostragem deve, ou anotar a taxa de vazamento e planejar a correção do volume de amostragem conforme na Seção 6.3 deste método, ou anular a rodada de amostragem.

São opcionais as verificações de vazamentos logo após trocas de componentes; caso sejam realizadas, deverão ser utilizados os procedimentos apresentados na Seção 4.4.4.3 acima.

4.1.4.3 Verificação Pós-Amostragem de Vazamentos

É mandatória uma verificação de vazamentos após a conclusão de cada rodada de amostragem. A verificação de vazamentos deve ser feita de acordo com procedimentos apresentados na Seção 4.1.4.1, exceto que deverá ser executada a um vácuo igual a ou maior que o valor máximo alcançado durante a rodada de amostragem. Se a taxa de vazamento observada não for maior que 0,00057 m^3/min, ou 4 % da taxa de amostragem média (o que for menor), os resultados são considerados aceitáveis, não sendo necessária nenhuma correção no volume total lido no gasômetro seco; se, contudo, obtiver-se uma taxa de vazamento mais alta, o técnico de amostragem deve, ou anotar a taxa de vazamento e planejar a correção do volume de amostragem conforme na Seção 6.3 deste método, ou anular a rodada de amostragem.

4.1.5 Operação do Trem de Amostragem

Durante a rodada de amostragem, mantenha uma taxa de amostragem isocinética (dentro de 10 % da isocinética verdadeira, a menos que especificado de outra maneira pelo Órgão Oficial) e uma temperatura em torno do filtro de 120±14° C, ou outra temperatura conforme especificado por uma subparte aplicável dos padrões ou aprovado pelo Órgão Oficial.

Para cada rodada, anote os dados exigidos num formulário de registro de dados, tal como o mostrado na Figura 5-2. Certifique-se de anotar a leitura inicial do gasômetro seco. Anote as leituras do gasômetro seco no início e no fim de cada incremento de tempo de amostragem, quando são feitas alterações na vazão, antes e após cada verificação de vazamentos, e quando for parada a amostragem. Faça outras leituras exigidas pela Figura 5-2 pelo menos uma vez a cada ponto de amostragem durante cada incremento de tempo e leituras adicionais quando alterações significativas (variação de 20 % nas leituras de pressão de velocidade) ditam a necessidade de ajustes adicionais na vazão. Nivele e zere o manômetro. Visto que o nível e o zero do manômetro podem sofrer deriva devido a vibrações e alterações de temperatura, faça verificações periódicas durante a corrida pelos pontos transversais.

Limpe os orifícios de entrada da chaminé antes das rodadas de amostragem, minimizando, assim, o risco de amostragem de material depositado. Para iniciar a amostragem, remova o tampão protetor da boquilha, verifique se os sistemas de aquecimento do filtro e da sonda já estão nas temperaturas desejadas, e se o tubo pitot e a sonda estão adequadamente posicionados. Posicione a boquilha no primeiro ponto transversal, com a ponta apontando diretamente contra o fluxo gasoso. Logo em seguida, ligue a bomba e ajuste o fluxo para as condições de isocineticidade. Existem nomógrafos que auxiliam, sem cálculos excessivos, no rápido ajuste da taxa de amostragem isocinética. Estes nomógrafos são projetados para uso quando o coeficiente do tubo pitot tipo S encontrar-se na faixa de 0,85±0,02, e a densidade equivalente (peso molecular seco) dos gases na chaminé estiver na faixa de 29±4. O APTD-0576 dá detalhes do procedimento para uso dos nomógrafos. Caso C_p e M_d estejam fora das faixas citadas acima, não use nomógrafos, a não ser que você tome providências cabíveis (ver Referência 7 na Bibliografia) para compensar os desvios.

Quando a chaminé se encontra sob pressão negativa (altura da haste do frasco borbulhador), tome o cuidado de fechar a válvula de ajuste grosso, antes de inserir a sonda na chaminé, evitando que ocorra o refluxo de água para o porta-filtro. Se necessário, a bomba pode ser ligada com a válvula de ajuste grosso fechada.

Quando a sonda estiver posicionada, tape as aberturas entre a sonda e o orifício de entrada na chaminé, assim evitando diluição não representativa do fluxo gasoso.

Atravesse pelos pontos transversais na seção transversal da chaminé, conforme exigido pelo Método 1, ou conforme especificado pelo órgão Oficila, tendo o cuidado de não bater com a boquilha da sonda nas paredes da chaminé quando estiver amostrando nas proximidades destas ou quando estiver retirando ou inserindo a sonda através do orifício de entrada na chaminé; isso minimiza o risco de extração de material depositado.

Planta_______________
Local_______________
Operador_______________
Data_______________
Rodada n°_______________
Caixa de amostras n°_______________
Caia de controle nº_______________
Medidor $\Delta H_@$_______________
Fator C_______________
Coeficiente do tubo pitot, C_p_______________

Esquema da seção transversal da chaminé

Temperatura ambiente_______________
Pressão barométrica_______________
Umidade considerada, %_______________
Comprimento da sonda, m_______________
Identificação da boquilha_______________
Diâmetro médio da boquilha, cm_______________
Nível de ajustamento do aquecimento da sonda_
Taxa de vazamento, m^3/min_______________
Material do revestimento da sonda_______________
Pressão estática, mm Hg_______________
Nº do filtro_______________

Número ponto de travessia	Tempo amostragem min	Vácuo mm Hg	Temp. chaminé °C	Pressão velocidade	Pressão diferencial orifício mm Hg	Volume gás amostra m^3	Temp da amostra de gás no gasômetro seco		Temp. porta-filtro °C	Temp. gás saída último Fr. Borbldr. °C
							Entrada °C	Saída °C		
Total							Média	Média		
Média							Média			

Figura 5-2 Dados de campo para material particulado

Durante as rodadas de amostragem, faça ajustes periódicos para manter a temperatura em torno do porta-filtro no nível apropriado; ponha mais gelo, e, se necessário, sal, para manter a temperatura abaixo de 20° C na saída do condensador/sílica-gel. Também, verifique periodicamente o nível e o zero do manômetro.

Se ocorrer aumento da queda de pressão através do filtro, tornando difícil manter amostragem isocinética, o filtro pode ser substituído no meio de uma rodada de amostragem. É recomendado que um outro conjunto com filtro seja usado, ao invés de tentar trocar o próprio filtro. Antes de instalar um novo conjunto com filtro, realize uma verificação de vazamentos (ver seção 4.1.4.2).

O peso do material particulado total deverá incluir a soma de todas as captações do conjunto com filtro.

Um único trem deverá ser usado para todas as rodadas de amostragem, exceto nos casos onde são exigidas amostragens simultâneas em dois ou mais dutos separados ou em dois ou mais locais diferentes dentro do mesmo duto, ou nos casos onde falhas de equipamento force a troca de trens. Em todas as circunstâncias, o uso de dois ou mais trens ficará sujeito à aprovação do Órgão Oficial.

Observe que quando são usados dois ou mais trens, deverão ser realizadas análises separadas das captações na metade anterior e (se aplicável) nos frascos borbulhadores de cada trem, a não ser que boquilhas com o mesmo diâmetro sejam utilizadas em todos os trens, caso em que as captações das metades anteriores de trens individuais podem ser combinadas (assim como as captações dos frascos borbulhadores) e uma análise das captações na metade anterior e uma análise das captações nos frascos borbulhadores podem ser realizadas. Contacte o Órgão Oficial e peça detalhes relativos ao cálculo dos resultados quando dois ou mais trens forem empregados.

No fim da rodada de amostragem, feche a válvula de ajuste grosso, retire a sonda e a boquilha da chaminé, desligue a bomba, anote a leitura final do gasômetro seco e realize uma verificação pós-amostragem de vazamentos, conforme apresentado na seção 4.1.4.3. Também, verifique se não há vazamentos nas linhas do tubo pitot, conforme descrito no Método 2, Seção 3.1; as linhas devem passar neste teste de vazamento, a fim de validar os dados de pressão de velocidade.

4.1.6 Determinação da Isocineticidade Percentual

Determine a isocineticidade percentual (veja Cálculos, Seção 6), a fim de determinar se a rodada foi válida ou se é necessário fazer outra rodada de amostragem. Caso haja dificuldade em manter as taxas de isocineticidade devido às condições da fonte, consulte o Órgão Oficial sobre possíveis variações nas taxas de isocineticidade.

4.2 Recolhimento da Amostra

Inicia-se um procedimento de limpeza tão logo a sonda é retirada da chaminé no fim do período de amostragem. Dê tempo para que a sonda esfrie.

Quando a sonda puder ser manuseada de maneira segura, remova todo o material particulado externo próximo à ponta da boquilha e proteja-a com uma tampa, a fim de evitar a perda ou ganho de material particulado. Não aperte a tampa em demasia enquanto a sonda estiver esfriando, pois pode formar-se vácuo, o que poderia causar o deslocamento de água dos frascos borbulhadores para o porta-filtro.

Antes de levar o trem de amostragem para o local de limpeza, desconecte a sonda do trem, remova a graxa de silicone e tampe a saída aberta da sonda. Tenha cuidado para não perder qualquer condensado que possa estar presente. Remova a graxa de silicone da entrada do filtro, onde a sonda estava presa, e tampe a entrada. Desconecte o cordão umbilical do último frasco borbulhador e tampe o frasco borbulhador. Caso for usada mangueira flexível entre o primeiro

frasco borbulhador ou condensador e o porta-filtro, desconecte a mangueira do porta-filtro e deixe que qualquer água ou líquido condensado drene para os frascos borbulhadores ou condensadores. Após remover a graxa de silicone, tampe a saída do porta-filtro e a entrada do frasco borbulhador. Pode-se usar rolha de vidro esmerilhado, tampa de plástico ou tampa de borracha para fechar as aberturas.

Leve a sonda e o conjunto filtro-frasco borbulhador para a área de limpeza. Esta área deve ser limpa e protegida do vento de modo a minimizar os riscos de contaminação ou perda de amostra. Guarde como branco uma porção da acetona usada para limpeza. Tire 200 mL desta acetona diretamente do frasco de lavagem sendo usado e coloque-a num recipiente de vidro etiquetado "branco acetona".

Inspecione o trem antes de e durante a desmontagem e anote quaisquer condições anormais. Trate da amostra como segue:

Recipiente n° 1. Cuidadosamente, retire o filtro do porta-filtro e coloque-o na sua placa de Petri identificada. Use um par de pinças e/ou luvas cirúrgicas descartáveis para manusear o filtro. Se for necessário dobrar o filtro, faça isso de tal forma que o bolo de partículas fique dentro da dobra. Cuidadosamente leve para a placa de Petri qualquer material particulado e/ou filbras de filtro que possam ter ficado presos na junta do porta-filtro, usando, para isso, uma escova de cerdas de náilon seco e/ou uma lâmina afiada. Vede o recipiente.

Recipiente nº 2. Tomando o cuidado para que partículas do lado de fora da sonda ou de outras superfícies externas não penetrem na amostra, quantitativamente, recolha o material particulado ou qualquer condensado retido na boquilha, nas conexões da sonda, no revestimento da sonda e na metade anterior do porta-filtro, lavando estes componentes com acetona e colocando a lavagem num recipiente de vidro. Pode-se, quando aprovado pelo Órgão Oficial, usar água destilada em vez de acetona, e deve ser usada quando especificada pelo Órgão Oficial; nestes casos, guarde um branco da água e siga as instruções do Órgão Oficial as análises. Realize a lavagem com acetona como segue:

Cuidadosamente, remova a boquilha e limpe sua superfície interna lavando-a com acetona do frasco de lavagem e escovando-a com uma escova de cerdas de náilon. Escove até que a lavagem com acetona indique nenhuma partícula visível, e, após isso, realize uma lavagem final da superfície interna com acetona.

Da mesma maneira, escove e lave as partes internas da conexão Swagelok com acetona, até que reste nenhuma partícula visível.

Inclinando e girando a sonda, e ao mesmo tempo esguichando acetona na sua extremidade superior, lave o revestimento interno da sonda de modo que todas as superfícies internas fiquem umedecidas com acetona. Deixe a acetona drenar através da extremidade inferior para o recipiente de amostragem. Pode-se usar um funil (de vidro ou polietileno) para auxiliar na transferência de lavagens líquidas para o recipiente. Suceda a lavagem da sonda com uma escovada da sonda. Segure a sonda em posição inclinada, esguiche acetona na extremidade superior à medida que a escova é puxada, em movimento giratório, através da sonda; segure um recipiente de amostragem por baixo da extremidade inferior da sonda, e capte qualquer acetona e material particulado escovado da sonda. Passe a escova através da sonda três vezes ou mais até que nenhum material particulado visível seja carreado com a acetona ou até que nada, numa inspeção visual, reste no revestimento interno da sonda. Com sondas de aço inoxidável ou outro metal, passe a escova através da sonda na maneira descrita acima pelo menos seis vezes visto que sondas metálicas possuem pequenas frestas onde o material particulado pode ficar preso. Lave a escova com acetona, e, quantitativamente, colete as lavagens no recipiente de amostragem. Após o escovamento, faça uma lavagem final com acetona conforme descrito acima.

Recomenda-se que duas pessoas limpem a sonda, a fim de minimizar as perdas de amostra. Entre rodadas de amostragem, mantenha as escovas limpas e protegidas de contaminação.

Após assegurar-se que todas as juntas estejam limpas, livres de graxa de silicone, limpe o interior da metade anterior do porta-filtro esfregando as superfícies com uma escova de cerdas de náilon e lavando com acetona. Lave cada superfície três vezes ou mais se necessário, para remover material particulado visível. Faça uma lavagem final da escova e do porta-filtro. Cuidadosamente, lave também (se aplicável) o ciclone de vidro. Após terem sido coletados no recipiente de amostragem todas as lavagens de acetona e material particulado, aperte a tampa do recipiente de amostragem de modo que a acetona não vaze durante o transporte para o laboratório. Marque a altura do nível do fluido para determinar se, ou não, ocorreu vazamento durante o transporte. Identifique com etiqueta o recipiente para claramente identificar seu conteúdo.

Recipiente nº 3. Observe a cor da sílica-gel indicativa para determinar se ela está completamente gasta e faça uma anotação de sua condição. Transfira a sílica-gel do quarto frasco borbulhador para seu recipiente original e vede-o. Um funil pode tornar mais fácil despejar a sílica-gel sem derramá-la. Um bastão policial de borracha [rubber policeman] pode ser usado para auxiliar na retirada da sílica-gel do frasco borbulhador. Não é necessário remover pequenas quantidades de partículas de poeira que podem ter ficado grudadas na parede do frasco borbulhador e sejam difíceis de remover. Visto que o ganho em peso é para ser usado na determinação de umidade, não use qualquer água ou outro líquido para transferir a sílica-gel. Caso haja uma balança disponível no campo, siga o procedimento para o Recipiente n° 3 na Seção 4.3.

Água no Frasco Borbulhador. Trate os frascos borbulhadores como segue; faça anotação de qualquer cor ou película na captação líquida. Meça o líquido que está nos primeiros três frascos borbulhadores com aproximação de ±1 mL, usando um cilindro graduado ou pesando com aproximação de ±0,5 g usando uma balança (caso esteja disponível). Anote o volume ou peso do líquido presente. Este dado é exigido para determinar o teor de umidade da emissão gasosa.

Jogue o líquido fora após a medição e registro do volume ou peso, a menos que seja exigida análise da captação do frasco borbulhador (ver Observação, Seção 2.1.7)

Caso seja usado um tipo diferente de condensador, determine a quantidade de umidade condensada, volumétrica ou gravimetricamente.

Toda vez que possível, os recipientes devem ser transportados de tal modo que permaneçam de pé todo o tempo.

4.3 Análises

Anote os dados exigidos num formulário tal como o mostrado na Figura 5-3. Manuseie cada recipiente de amostra como segue:

Recipiente n° 1. Deixe o conteúdo no recipiente de transporte ou transfira o filtro e qualquer material particulado solto do recipiente de amostragem para uma placa de pesagem de vidro tarada. Desseque por 24 horas num dessecador contendo sulfato de cálcio anidro. Pese a peso constante e anote os resultados com aproximação de ±0,1 mg. Para fins desta Seção, 4.3, o termo “peso constante” significa uma diferença de não mais que 0,5 mg ou 1 % do peso total menos o peso da tara, o que for maior, entre duas pesagens consecutivas, com não mais que 6 horas de tempo de dessecagem entre pesagens.

Alternativamente, a amostra pode ser secada na estufa a 105° C por 2 a 3 horas, resfriada no dessecador e pesada a peso constante, a menos que especificado ao contrário pelo Órgão Oficial. O técnico de amostragem pode também optar por secar a amostra em estufa a 105° C por 2 a 3 horas, pesar a amostra e usar este peso como peso final.

Recipiente n° 2. Observe o nível do líquido no recipiente e confirme no formulário de análise se, ou não, ocorreu vazamento durante o transporte. Caso tenha ocorrido vazamento de uma quantidade observável, ou anule a amostra, ou use outros métodos, sujeitos à aprovação do Órgão Oficial, para corrigir os resultados finais. Meça o líquido no recipiente, volumetricamente a

DADOS ANALÍTICOS

Planta____
Data____
Rodada n°____
Filtro n°____
Quantidade de líquido perdida durante transporte_______________________
Volume do branco da acetona, mL_________________________________
Volume da lavagem da acetona, mL_________________________________
Concentração do branco da acetona, mg/mg (Equação 5-6)_____________
Branco da lavagem da acetona, mg (Equação 5-7)______________________

Número recipiente	Peso do material particulado coletado, mg		
	Peso final	Peso tara	Ganho em peso
1........................ 2......................			
Total.. Menos o branco da acetona................................... ......Peso do material particulado................................			

	Volume de líquido/água coletado	
	Frasco borbulhador Volume, mL	Sílica-gel Peso, g
Final....................................... Inicial..................................... Líquido coletado..................... Volume total coletado.............		g* mL

* Converta peso da água para volume dividindo o aumento em peso total
Pela densidade da água (1 g/mL)

$$\frac{Aumento, g}{(1\frac{g}{mL})} = Volume\ de\ água, mL$$

Figura 5-3 Dados Analíticos

±1 mL ou gavimetricamente a ±0,5 g. Transfira o conteúdo para um béquer de 250 mL tarado e evapore até ficar seco à temperatura e pressão ambientes. Desseque por 24 horas e pese a peso constante. Apresente os resultados com aproximação de ±0,1 mg.

Recipiente n° 3. Usando uma balança, pese a sílica-gel gasta (ou sílica-gel mais frasco borbulhador) com aproximação de ±0,5 g. Este passo pode ser realizado no campo.

Recipiente "Branco Acetona". Meça a acetona neste recipiente, volumétrica ou gravimetricamente. Transfira a acetona para um béquer de 250 mL tarado e evapore à secura, à temperatura e pressão ambientes. Desseque por 24 horas e realize a pesagem a peso constante. Apresente os resultados com aproximação de ±0,1 mg.

Nota: Por opção do técnico de amostragem, o conteúdo do Recipiente n° 2, bem como o do recipiente do branco da acetona, pode ser evaporado a temperaturas mais altas que a temperatura ambiente. Caso a evaporação seja realizada a uma temperatura elevada, a temperatura deve permanecer abaixo do ponto de ebulição do solvente; além disso, para evitar "amortecimento" ["bumping"], o processo de evaporação deve ser bem supervisionado, e o conteúdo do béquer deve ser agitado ocasionalmente para que a temperatura fique uniforme. Seja extremamente cuidadoso, pois a acetona é altamente inflamável e tem um baixo ponto de fulgor.

4.4 Procedimento de Controle da Qualidade

Os seguintes procedimentos de controle da qualidade são recomendados para a verificação dos valores de calibração do sistema de medição de volume no local de amostragem no campo antes da coleta de amostras. Estes procedimentos são opcionais para o técnico de amostragem.

4.4.1 Verificação do Orifício Medidor

Usando os dados da calibração, obtidos durante o procedimento de calibração descrito na Seção 5.3, determine $\Delta H_@$ para o orifício da caixa de controle. O $\Delta H_@$ é o diferencial de pressão no orifício, em unidades de H_2O, que corresponda à vazão de 0,021 m^3/min de ar a 20° C e 760 mm Hg (condições padrão). $\Delta H_@$ é calculado pela equação:

$$\Delta H_@ = 0{,}00114\,\Delta H\,\frac{T_m}{P_b}\,\frac{\theta^2}{Y^2 V_m^{\ 2}} \qquad \text{Eq. 5-9}$$

onde ΔH = pressão diferencial média através do medidor de orifício, mm H_2O
T_m = temperatura absoluta média no gasômetro seco, K
P_b = pressão barométrica, mm Hg
θ = tempo total de amostragem, min
Y = fator de calibração do gasômetro seco, adimensional
V_m = volume da amostra de gás medida pelo gasômetro seco, m^3
0,00114 = [(760 mm Hg)/(293 K)] x (0,021 m^3/min)^2

Antes de começar a amostragem no campo (uma amostragem é geralmente composta de três rodadas ou coletas), ponha para funcionar a caixa de controle (isto é, bomba, gasômetro e orifício) a uma pressão diferencial $\Delta H = \Delta H_@$ por 10 minutos. Anote o volume coletado, a temperatura no gasômetro e a pressão barométrica. Determine um valor de verificação da calibração do gasômetro, Y_c, como segue:

$$Y_c = \frac{10}{V_m}\left[\frac{0{,}00114\,T_m}{P_b}\right]^{1/2} \qquad \text{Eq. 5-10}$$

onde Y_c = valor de verificação da calibração do gasômetro, adimensional
10 = 10 minutos de tempo de rodada

Compare o valor de Y_c com o fator de calibração Y do gasômetro seco e veja se satisfaz

$$0{,}97 < Y_c < 1{,}03$$

Se o valor de Y_c não estiver dentro desta faixa, verifique o sistema de medição de volume antes de iniciar as rodadas de amostragem.

4.4.2 Orifício Crítico Calibrado

Pode-se empregar orifícios críticos, calibrados contra um gasômetro úmido [wet test meter] ou espirômetro, e projetados para encaixe na entrada da caixa de controle [sampling meter box], para verificação de controle da qualidade, utilizando o procedimento da Seção 7.2.

5. CALIBRAÇÃO

5.1 Boquilha da Sonda

As boquilhas da sonda devem ser calibradas antes de seu uso inicial no campo. Com um micrô-

metro, meça o diâmetro interno da boquilha com proximidade de ±0,025 mm. Faça três medições separadas usando diferentes diâmetros cada vez, e obtenha a média das medições. A diferença entre o maior e o menor valor não deve exceder 0,1 mm. Boquilhas riscadas, amassadas ou corroídas deverão ser reformadas, afiadas e recalibradas antes de serem colocadas em uso. Cada boquilha deverá ser permanente e univocamente identificada.

5.2 Tubo Pitot

O conjunto tubo pitot tipo S deve ser calibrado de acordo com o procedimento apresentado na Seção 4 do Método 2.

5.3 Caixa de Controle [Metering System]

5.3.1 Calibração Antes do Uso

Antes de seu uso inicial no campo, a caixa de controle deve ser calibrada como segue: Conecte a entrada da caixa de controle à saída de um gasômetro úmido com erros de medição não superior ± 1 %. Veja a Figura 5.5. O gasômetro úmido deve ter uma capacidade de 30 litros por revolução. Um espirômetro (com 400 litros ou mais de capacidade), ou equivalente, pode ser usado para esta calibração, embora um gasômetro úmido seja geralmente mais prático. Para se assegurar a confiabilidade do gasômetro úmido, o mesmo deve ser checado contra um espirômetro ou um relógio de deslocamento líquido [frasco de Mariotte]. Pode-se usar espirômetros ou gasômetros úmidos de outros tamanhos, contanto que sejam mantidos os níveis de confiabilidade especificados do procedimento. Deixe a bomba da caixa de controle funcionar por 15 minutos com o manômetro do orifício indicando uma leitura média próxima da prevista no campo, a fim de que a superfície interna do gasômetro úmido se molhe completamente. Então, a cada uma de um mínimo de três posições do manômetro do orifício passe uma quantidade de gás através do gasômetro úmido e anote o volume de gás indicado pelo gasômetro seco. Também anote a pressão barométrica e as temperaturas do gasômetro úmido e da entrada e da saída do gasômetro seco. Selecione as posições mais alta e mais baixa do orifício de modo que encerrem a vazão de operação do orifício prevista no campo. Use um volume mínimo de 0,15 m^3 em todas as posições do orifício. Registre todos os dados num formulário semelhante ao da Figura 5.5, e calcule Y, o fator de calibração do gasômetro seco e $\Delta H_{@}$, o fator de calibração do orifício, a cada posição do orifício conforme mostrado na Figura 5.6. As tolerâncias permitidas para os valores individuais de Y e $\Delta H_{@}$ são apresentadas na Figura 5.6. Utilize a média dos valores de Y nos cálculos na Seção 6.

Antes de calibrar a caixa de controle, recomenda-se realizar uma verificação de estanqueidade. Para caixas de controle com bombas de diafragma, o procedimento normal de verificação de estanqueidade não detectará vazamentos dentro da bomba. Para estes casos, recomenda-se o seguinte procedimento de verificação de estanqueidade: faça uma rodada de calibração de 10 minutos a 0,00075 m^3/min; no fim da rodada, tome a diferença entre os volumes da gasômetro úmido e do gasômetro seco; divida a diferença por 10, para obter o nível de vazamento. O nível de vazamento não deve exceder 0,00057 m^3/min (6 litros por minuto).

5.3.2 Calibração Após Uso

Após cada utilização no campo, verifica-se a calibração da caixa de controle realizando-se três rodadas de calibração a uma única posição intermediária do orifício (baseado no serviço de amostragem anterior), com o nível de vácuo no seu valor máximo alcançado durantes a série de amostragens. Para ajustar o vácuo, insira uma válvula entre o gasômetro úmido e a entrada da caixa de controle. Calcule o valor médio do fator de calibração do gasômetro seco. Caso este valor tenha se alterado em mais de 5 %, recalibre a caixa de controle em toda a faixa de posições do orifício, conforme detalhado anteriormente.

Pode-se usar procedimentos alternativos, como, por exemplo, reverificação do coeficiente do medidor de orifício, sujeito à aprovação do Órgão Oficial.

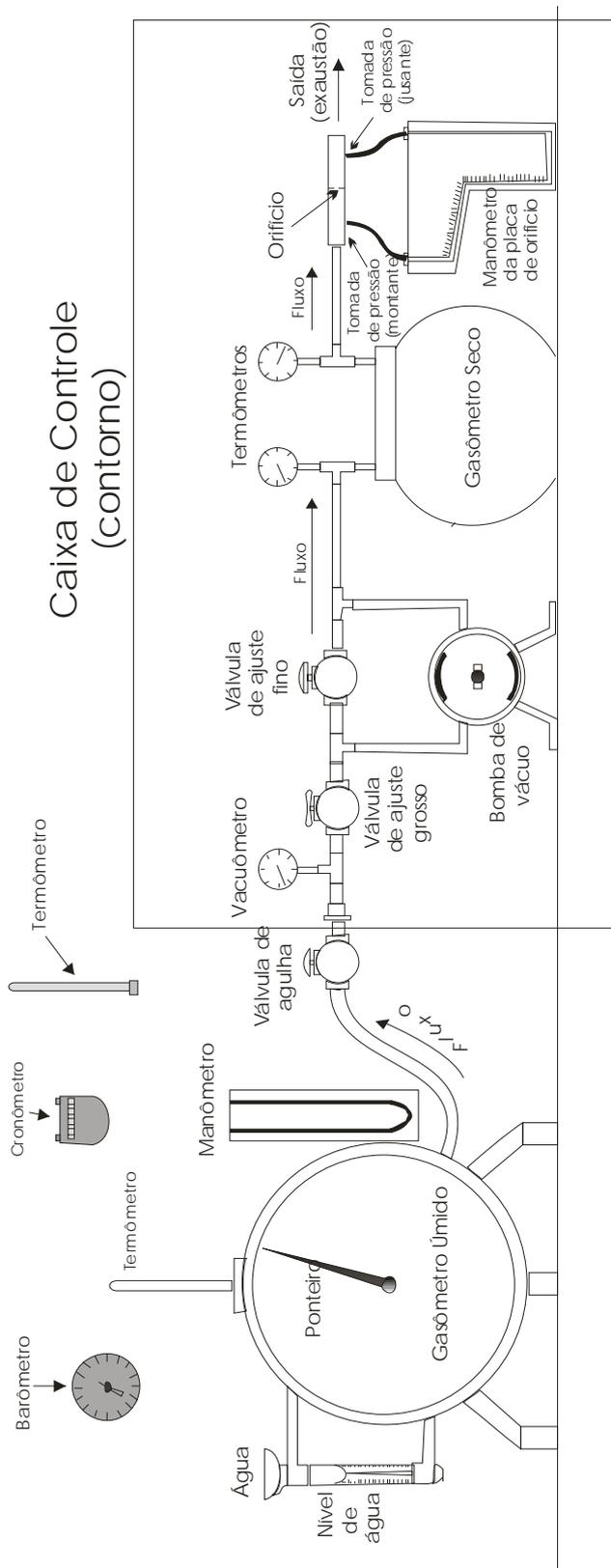



Figura 5.5 Arranjo do equipamento para calibração da caixa de controle

FORMULÁRIO DE DADOS PARA A CALIBRAÇÃO DA CAIXA DE CONTROLE
(GASÔMETRO E ORIFÍCIO)

Data__________________________ **Identificação Caixa de Controle__________________**

Pressão barométrica, P_{bar} =_____________

Posição manômetro do orifício mm H_2O	Espirômetro (gás. úmido) volume gás m^3	Gasômetro seco volume m^3	Temperatura				Tempo θ min
			Espirômetro (gás. úmido) °C	Gasômetro seco			
				Entrada °C	Saída °C	Média °C	

Cálculos

	Y	ΔH@
ΔH mm H_2O	$\dfrac{V_w\, P_{bar}\,(t_m + 273)}{V_m\left[P_b + \dfrac{\Delta H}{13{,}6}\right](t_w + 273)}$	$\dfrac{0{,}00114\,\Delta H}{P_b\,(t_m + 273)}\left[\dfrac{(t_w + 273)\theta}{V_w}\right]^2$
Média		

Y = Taxa da leitura do gasômetro úmido com relação a do gasômetro seco; tolerância de ±0,02 para o desvio de cada valor individual com relação à média.

ΔH@ = Pressão diferencial no orifício correspondente a 0,021 m^3/min de ar a 20° C e 760 mm Hg; tolerância ±0,20 para o desvio de cada valor individual com relação à média.

Figura 5.6 Exemplo de formulário de dados para calibração da caixa de controle

5.3.3 Variação Aceitável na Calibração

Caso os valores do fator de calibração do gasômetro, obtidos antes e depois de uma série de serviços de amostragem, diferirem em mais de 5 %, a série de serviços de amostragem deverá, ou ser anulada, ou deverão ser realizados cálculos para a série de serviços de amostragem usando qualquer valor do coeficiente do medidor (antes ou depois) que dê o valor mais baixo do volume total de amostragem.

5.4 Calibração do Aquecimento da Sonda.

O sistema de aquecimento da sonda deve ser calibrado antes do uso inicial no campo.

Utilize uma fonte de calor para gerar ar aquecido a temperaturas selecionadas que se aproximem às previstas de ocorrer nas fontes a serem amostradas. Passe este ar através da sonda a uma única vazão típica enquanto mede as temperaturas na entrada e na saída da sonda a várias posições do aquecimento da sonda. Para cada temperatura de ar gerada, construa um gráfico da posição do sistema de aquecimento da sonda versus a temperatura de saída da sonda. Pode-se também usar o procedimento detalhado no APTD-0576. Sondas construídas de acordo com o APTD-0581 não requerem calibração caso sejam usadas as curvas de calibração em APTD-0576. Além disso, sondas com meios para monitoramento de temperatura na sua saída não requerem calibração.

5.5 Medidores de Temperatura

Utilize o procedimento na Seção 4.3 do Método 2 para calibrar medidores de temperatura dentro da chaminé. Termômetros com dial, tais como os usados em gasômetro seco e na saída de condensador, devem ser calibrados contra termômetros de mercúrio em vidro.

5.6 Verificação da Estanqueidade da Caixa de Controle Mostrada na Figura 5.1

A porção do trem de amostragem que vai da bomba ao orifício deve ser verificada quanto à estanqueidade antes e após a colocação em serviço do equipamento. Vazamento após a bomba resultará num volume menor sendo registrado do que o realmente amostrado. O seguinte procedimento é recomendado (veja Figura 5.4): Feche a válvula principal na caixa de controle. Insira uma tampa de borracha com um furo, com a mangueira de borracha conectada no tubo de exaustão do orifício. Desconecte e evacue a extremidade inferior do manômetro. Feche a torneirinha da extremidade inferior do orifício. Soprando pela mangueira de borracha, pressurize o sistema até 13 a 18 cm de coluna d'água. Pince a mangueira e observe o manômetro por um minuto. Uma perda de pressão no manômetro indicará um vazamento na caixa de controle de medição; vazamentos, se presentes, devem ser removidos.

5.7 Barômetro

Calibre-o contra um barômetro de mercúrio.

6. CÁLCULOS

Realize os cálculos retendo pelo menos um número decimal extra além daqueles dos dados obtidos. Arredonde os números após os cálculos finais. Outras formas de equações podem ser usadas contanto que dêem resultados equivalentes.

6.1 Nomenclatura

A_n =	Seção transversal da boquilha, m^2
B_{ws} =	Vapor de água no fluxo gasoso, proporção por volume
C_a =	Concentração de resíduo do branco da acetona

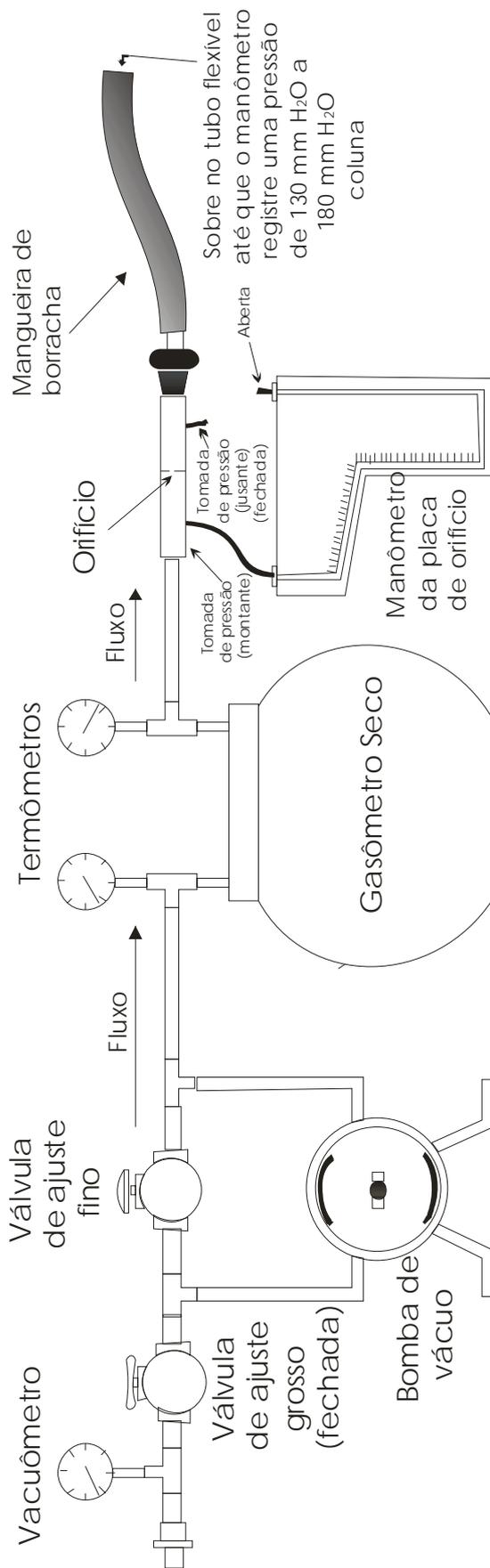



Figura 5-4 Verificação de estanqueidade na caixa de controle

6.1 Nomenclatura (cont.)

C_s =	Concentração de material particulado nos gases da chaminé, base seca, corrigido para condições padrão, g/dm^3-padrão
I =	Porcentagem de amostragem isocinética
L_a =	Taxa de vazamento aceitáveol máximo para uma verificação pré-amostragem ou uma verificação de vazamentos após uma troca de componente; igual a 0,00057 m^3/min (6 L/min) ou 4 % da taxa de amostragem média, o que for menor.
L_i =	Taxa de vazamento individual observada durante a verificação de vazamentos conduzida antes da 1ª troca de componentes (i = 1, 2, 3, ...n), m^3/min
L_p =	Taxa de vazamento observada durante a verificação pós-amostragem, m^3/min
m_a =	Massa de resíduo de acetona após evaporação, mg
m_n =	Quantidade total de material particulado coletado, mg
M_w =	Peso molecular da água, 18,0 g/g-mol
P_b =	Pressão barométrica no local de amostragem, mm Hg
P_s =	Peressão absoluta dos gases na chaminé, mm Hg
P_{std} =	Pressão absoluta padrão, 760 mmHg
R =	Constante dos gases ideais, 0,06236 mm Hg-m^3/K-g-mol
T_m =	Temperatura absoluta média no gasômetro seco, K
T_s =	Temperatura absoluta média nos gases da chaminé, K
T_{std} =	Temperatura absoluta padrão, K
V_a =	Volume do branco da acetona, mL
V_{aw} =	Volume de acetona usada na lavagem, mL
V_{lc} =	Volume total de líquido coletado nos frascos borbulhadores e na sílica-gel (ver Figura 5-3), mL
V_m =	Volume dos gases de amostragem medido pelo gasômetro seco, m^3
$V_{m(std)}$ =	Volume dos gases de amostragem medido pelo gasômetro seco, corrigido para condições padrão, m^3
$V_{w(std)}$ =	Volume de vapor de água nos gases de amostragem, corrigido para condições padrão, m^3
v_s =	Velocidade dos gases na chaminé, calculado pelo Método 2, Equação 2-9, usando dados obtidos do Método 5, m/s
W_a =	Peso do resíduo na lavagem da acetona, mg
Y =	Fator de calibração do gasômetro seco
ΔH =	Pressão diferencial média através do medidor de orifício, mm H_2O
ρ_a =	Densidade da acetona, mg/m/L (ver etiqueta no frasco)
ρ_w =	Densidade da água, 0,9982 g/mL
Θ =	Tempo de amostragem total, min
Θ_1 =	Intervalo de tempo de amostragem, do início de uma rodada até a primeira troca de componente, min
Θ_i =	Intervalo de tempo de amostragem, entre duas sucessivas trocas de componente, iniciando com o intervalo entre a primeira e a segunda troca, indo início de uma rodada até a primeira troca de componente, min
Θ_p =	Intervalo de tempo de amostragem, da troca final (nª) de componente até o fim da rodada de amostragem, min
13,6 =	Peso específico do mercúrio
60 =	s/min
100 =	Conversão para percentagem

6.2 Temperatura Média no Gasômetro Seco e Perda de Carga Média no Orifício

Ver formulário de registro de dados (Figura 5-2)

6.3 Volume de Gás no Gasômetro Seco

Corrija o volume de amostragem medido pelo gasômetro seco para condições padrão (20° C, 760 mm Hg), usando a Equação 5-1.

$$V_{m(std)} = V_m Y \left(\frac{T_{std}}{T_m} \right) \left[\frac{P_b + \frac{\Delta H}{13,6}}{P_{std}} \right] = K_1 V_m Y \frac{P_b + \frac{\Delta H}{13,6}}{T_m}$$

Eq. 5-1

onde K_1 = 0,3858 K/mm Kg para unidades internacionais.

Nota: A Equação 5-1 pode ser usada conforme escrita a não ser que a taxa de vazamento observada durante as verificações mandatórias de vazamentos (isto é, verificações pós-amostragem de vazamentos ou verificações de vazamentos realizadas antes das trocas de componentes) excedam L_a. Se L_p ou L_i exceder L_a, a Equação 5-1 deve ser modificada como segue:

a) Caso I. Número de trocas de componentes feitas durante a rodada de amostragem. Neste caso, substitua V_m na Equação 5-3 pela expressão:

$$\left[V_m - \left(L_p - L_a \right) \theta \right]$$

b) Caso II. Uma ou mais trocas de componentes durante a rodada de amostragem. Neste caso, substitua V_m na Equação 5-1 pela expressão:

$$\left[V_m - \left(L_p - L_a \right) \theta_1 - \sum_{i=2}^{N} \left(L_i - L_a \right) \theta_i - \left(L_p - L_a \right) \theta_p \right]$$

e substitua apenas para as taxas de vazamento (L_i ou L_p) que excedam L_a.

6.4 Volume de Vapor de Água

$$V_{w(std)} = \frac{V_{lc} \, \theta_w R T_{std}}{M_w \, P_{std}} = K_2 V_{lc}$$

Eq. 5-2

onde K_2 = 0,001333 m^3/min para unidades internacionais.

6.5 Teor de Umidade

$$B_{ws} = \frac{V_{w(std)}}{V_{m(std)} + V_{w(std)}}$$

Eq. 5-3

Nota: Em fluxos gasosos saturados ou carregados de gotas d'água, devem ser feitos dois cálculos de teor de umidade: um com base nas análises dos frascos borbulhadores (Equação 5-3) e o outro partindo da hipótese de condições saturadas. O mais baixo dos dois valores de B_{ws} deverá ser considerado correto. O procedimento para determinar o teor de umidade baseado na hipótese de condições saturadas é apresentado na Nota da Seção 1.2 do Método 4. Para fins deste méto-

do, a temperatura média dos gases na chaminé do formulário da Figura 5-2 pode ser usada para fazer esta determinação, contanto que a exatidão e precisão do sensor de temperatura sejam de ±1° C.

6.6 Concentração do Branco da Acetona

$$C_a = \frac{m_a}{V_a \, \rho_a}$$

Eq. 5-4

6.7 Branco da Lavagem da Acetona

$$W_a = C_a \, V_{aw} \, \rho_a$$

Eq. 5-5

6.8 Peso Total do Material Particulado

Determine a captação de todo o material particulado representada pela soma dos pesos obtidos nos Recipientes 1 e 2 menos o branco da acetona (ver Figura 5-3).

Nota: Consulte a Seção 4.1.5 para lhe ajudar nos cálculos dos resultados envolvendo dois ou mais conjuntos de filtro ou dois ou mais trens de amostragem,

6.9 Concentração do Material Particulado

$$C_s = \left(0{,}001 \frac{g}{m_g}\right)\left(\frac{m_a}{V_{m(std)}}\right)$$

Eq. 5-6

6.10 Fatores de Conversão

De	Para	Multiplique por
ft^3	m^3	0,02832
g	mg	0,001
g/ft^3	lb/ft^3	2,205x10-3
g/ft^3	g/m^3	35,31

6.11 Variação da Isocineticidade

6.11.1 Cálculos a Partir dos dados Brutos

$$I = \frac{100 \; T_s \, [K_3 \, V_K + (V_m \, Y / T_m)(P_b + \Delta H / 13{,}6)]}{60 \, \theta \, v_s \, \theta \, P_s \, A_n}$$

Eq. 5-7

onde K_3 = 0,003453 mm Hg-m^3/mL-K para unidades internacionais.

6.11.2 Cálculos a Partir dos Dados Intermediários

$$I = \frac{100 T_s \, V_{m(std)} \, P_{std}}{60 T_{std} \, v_s \, \theta \, A_n \, P_s \, (1 - B_w)} = \frac{K_4 T_s \, V_{m(std)}}{P_s \, v_s \, A_n \, \theta (1 - B_{ws})}$$

Eq. 5-8

onde K_4 = 4,320 para unidades internacionais.

6.12 Resultados Aceitáveis

Os resultados serão aceitáveis se 90% < *I* < 110%. Se os resultados do material particulado forem baixos, comparados com o padrão, e se *I* estiver acima de 110% ou abaixo, o Órgão Oficial pode aceitar os resultados. A Referência 4 na Bibliografia pode ser usada para se fazer julgamentos de aceitabilidade. Se *I* for julgado inaceitável, então rejeite os resultados do material particulado e faça as amostragens de novo.

6.13 Velocidade dos Gases na Chaminé e Vazão Volumétrica

Calcule a velocidade média e a vazão volumétrica dos gases na chaminé, se necessário, usando os dados obtidos neste método e as equações nas Seções 5.2 e 5.3 do Método 2.

7. PROCEDIMENTOS ALTERNATIVOS

7.1 Medidor de Gás Seco como Padrão de Calibração

Pode-se utilizar um gasômetro seco como padrão de calibração para medições de volume, em substituição ao gasômetro úmido especificado na Seção 5.3, bastando, para isso, que o gasômetro seja calibrado inicialmente e recalibrado periodicamente como segue:

7.1.1 Calibração do Gasômetro Seco Padrão

7.1.1.1 O gasômetro seco a ser calibrado e usado como medidor de referência secundário deve ser de alta qualidade e ter uma capacidade adequadamente dimensionada, por exemplo, 3 litros por revolução. Um espirômetro (400 litros ou mais de capacidade), ou equivalente, pode ser usado para esta calibração, embora um gasômetro úmido seja geralmente mais prático. O gasômetro úmido deve ter uma capacidade de 30 litros por revolução e ser capaz de medir volume dentro de ± 1,0 %. Para se assegurar a exatidão e precisão do gasômetro úmido, o mesmo deve ser checado contra um espirômetro ou um medidor de deslocamento líquido [frasco de Mariotte]. Pode-se usar espirômetros ou gasômetros úmidos de outros tamanhos, contanto que sejam mantidas as exatidões e precisões especificadas do procedimento.

7.1.1.2 Monte os componentes conforme mostrado na Figura 5.7. Pode-se, no sistema, usar um espirômetro, ou equivalente, em vez do gasômetro úmido. Ligue a bomba e deixe-a funcionar por pelo menos 5 minutos, a uma vazão em torno de 10 litros/min, a fim de condicionar a superfície interna do gasômetro úmido. A perda de carga indicada pelo manômetro na extremidade da entrada do gasômetro seco deve ser minimizada (não superior a 100 mm H_2O a uma vazão de 30 litros/min). Consegue-se isso usando mangueiras com diâmetro maior e conectores retilíneos.

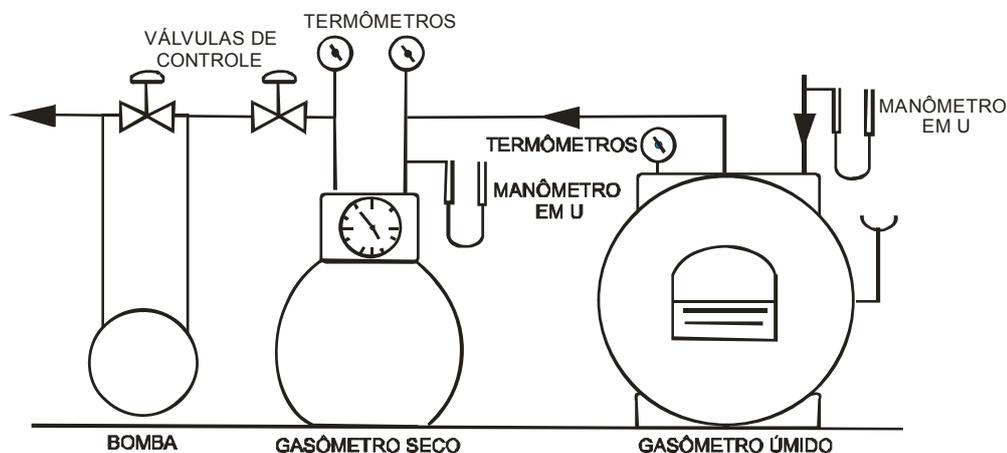



Figura 5.7 - Configuração dos equipamentos para a calibração do medidor de gás seco

7.1.1.3 Colete os dados conforme mostrado no exemplo (ver Figura 5.8). Faça rodadas em triplicata a cada uma das vazões e a não menos do que cinco diferentes vazões. A faixa das vazões deve estar entre 10 e 34 litros/min ou dentro da faixa prevista de vazões de operação.

7.1.1.4 Calcule a vazão, *Q*, para cada rodada em função do volume, V_u, do gasômetro úmido e da duração da rodada, *θ*. Calcule o coeficiente de gasômetro seco, *Y*, para cada rodada. Estes cálculos são os seguintes:

$$Q = K_1 \frac{V_u\ P_b}{\theta\left(t_s + 273\right)} \qquad \text{Eq. 5-9}$$

$$Y = \frac{V_u\ P_b\ (t_s + 273)}{V_s\left(P_b + \frac{\Delta p}{13,6}\right)\left(t_u + 273\right)} \qquad \text{Eq. 5-10}$$

onde K_1 = 0,3858 para o sistema internacional de unidades
V_u = volume do gasômetro úmido, litros
V_s = volume do gasômetro seco, litros
t_s = temperatura média do gasômetro seco, °C
t_p = 273°C para unidades SI
t_u = temperatura média do gasômetro úmido, °C
P_b = pressão barométrica, mm Hg
Δp = pressão diferencial na entrada do gasômetro seco, mm H_2O
θ = tempo da rodada, min

7.1.1.5 Compare os três valores de *Y* a cada vazão e determine os valores máximo e mínimo. A diferença entre os valores máximo e mínimo a cada vazão não deve ser maior do que 0,030. Pode-se realizar outros conjuntos de rodadas em triplicata a fim de completar esta exigência. Além disso, os coeficientes do medidor devem estar compreendidos entre 0,95 e 1,05. Caso estas especificações não possam ser atendidas em três conjuntos de rodadas em triplicata sucessivas, o medidor é considerado inadequado, não devendo ser utilizado como padrão de calibração. Caso as especificações sejam atendidas, tire a média dos valores de *Y* a cada vazão, resultando então cinco coeficientes médios, *Y*.

7.1.1.6 Prepare uma curva do coeficiente do medidor, *Y*, versus a vazão, *Q*, para o gasômetro seco. Esta curva deverá ser usada como uma referência quando o medidor for utilizado para calibrar outros gasômetros secos e para determinar se é necessária recalibração.

7.1.2 Recalibração do Gasômetro Seco Padrão

7.1.2.1 Recalibre o gasômetro seco padrão contra um gasômetro úmido ou espirômetro, anualmente ou após cada 200 horas de operação, o que ocorrer primeiro. Esta exigência é válida contanto que o gasômetro seco padrão seja mantido num laboratório, e, quando transportado, seja manuseado como qualquer outro instrumento de laboratório. Falta de cuidado no manuseio do gasômetro padrão pode causar alteração na calibração, passando a requerer recalibrações mais freqüentes.

7.1.2.2 Como alternativa à calibração completa, pode ser feita uma verificação de dois pontos da calibração. Siga o mesmo procedimento e utilize a mesma configuração de equipamentos utilizados para a calibração completa, porém faça rodadas a apenas duas vazões (sugere-se vazões de 14 e 28 litros/min). Calcule os coeficientes do gasômetro para estes dois pontos, e compare os valores com a curva de calibração do gasômetro. Caso os dois coeficientes estejam dentro de ± 1,5 % dos valores da curva de calibração, o gasômetro não precisa de ser recalibrado até a próxima data de verificação de recalibração.

DATA:____

IDENTIFICAÇÃO DO GASÔMETRO SECO: _______________________

PRESSÃO BAROMÉTRICA: _____________________________________ mm Hg

VAZÃO APROX. (Q) L/min	VOLUME GASÔM. ÚMIDO (V_u) (m^3)	VOLUME GASO. SECO (V_s) (m^3)	TEMPERATURAS				PESSÃO GASÔM. SECO (Δp) mm H_2O	TEMPO (θ) min	VAZÃO (Q) m^3/min	COEFIC. GASÔM. SECO. (Y)	MÉDIA COEFIC. GASÔM. SECO (Y)
			GASÔM. ÚMIDO (t_u) °C	GASÔMETRO SECO							
				ENTRADA (t_e) °C	SAÍDA (t_s) °C	MÉDIA (t_s) °C					
11											
17											
23											
28											
34											

$$Q = 0{,}3858 \frac{V_u \; P_b}{\theta \left(t_s + 273 \right)}$$

$$Y = \frac{V_u \; P_b \; (t_s + 273)}{V_s \left(P_b + \dfrac{\Delta p}{13{,}6} \right) \left(t_u + 273 \right)}$$

Figura 5.8 Exemplo de formulário de dados para calibração de um gasômetro seco padrão para equipamento de amostragem pelo Método 5

7.2 Orifícios Críticos como Padrões de Calibração

Pode-se utilizar orifícios críticos como padrões de calibração, em substituição ao gasômetro úmido especificado na Seção 5.3, bastando, para isso, que sejam selecionados, calibrados e usados como segue:

7.2.1 Seleção de Orifícios Críticos

7.2.1.1 O procedimento que segue descreve o uso de agulhas hipodérmicas ou tubos capilares de aço inox, que sejam adequadas para uso como orifícios críticos. Outros materiais e projetos de orifício crítico podem ser usados contanto que os orifícios funcionem verdadeiramente como orifícios críticos; isto é, possa ser obtido vácuo crítico conforme descrito na Seção 7.2.2.2.3. Deve-se selecionar cinco orifícios críticos, dimensionados de tal forma a cobrir a faixa de vazões entre 10 e 34 L/min ou de vazões previstas. Dois destes orifícios devem encerrar a faixa de operação prevista.

Será necessário um mínimo de três orifícios para calibrar um gasômetro seco designado para o Método 5. Os outros dois ficam como sobressalentes, para uso caso se queira uma cobertura mais apropriada das vazões de operação. As dimensões das agulhas e os comprimentos dos tubos, mostrados abaixo, dão as seguintes vazões aproximadas:

Calibre/cm	Vazão (litros/min)	Calibre/cm	Vazão (litros/min)
12/7,6	32,56	14/2,5	19,54
12/10,2	30,02	14/5,1	17,27
13/2,5	25,77	14/7,6	16,14
13/5,1	23,50	15/3,2	14,16
13/7,6	22,37	15/7,6	11,61
13/10,2	20,67	15/10,2	10,48

7.2.1.2 Estas agulhas podem ser adaptadas para um trem de amostragem tipo Método 5 da seguinte maneira: Insira um tampão de frasco de soro, tipo luva de 13 por 20 mm, num engate rápido, modelo Swagelok, de ½ polegada. Insira a agulha no tampão conforme mostrado na Figura 5-9.

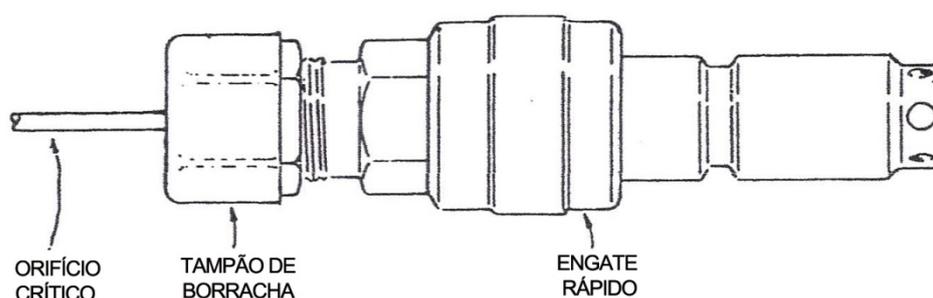



Figura 5-9 Adaptação do orifício crítico ao sistema de medição do Método 5

7.2.2 Calibração do Orifício Crítico

O procedimento descrito nesta seção utiliza a configuração da caixa de controle do Método 5, descrita na Seção 2.1.8, para calibrar os orifícios críticos. Pode-se usar outros esquemas, sujeitos à aprovação do Órgão Oficial.

7.2.2.1 Calibração da Caixa de Controle. Os orifícios críticos devem ser calibrados na mesma configuração em que serão usados; por exemplo, não poderá haver qualquer conexão na entrada do orifício.

7.2.2.1.1 Antes da calibração da caixa de controle, teste a estanqueidade do sistema como segue: Abra completamente a válvula de ajuste grosso, e feche completamente a válvula de bypass (ajuste fino). Bloqueie a entrada. Ligue então a bomba e determine se há qualquer vazamento. O nível de vazamento deve ser zero; por exemplo, nenhum movimento detectável no gasômetro deve ser observado por um minuto.

7.2.2.1.2 Verifique também se há vazamento na porção do trem de amostragem entre a bomba e o medido de orifício. Veja o procedimento na Seção 5.6.; faça qualquer correção necessária. Caso detecte vazamento, verifique se não há juntas rasgadas, conexões frouxas, o-rings gastos etc., e faça os reparos necessários.

7.2.2.1.3 Após certificar-se de que a caixa de controle está livre de vazamentos, calibre-a de acordo com o procedimento apresentado na Seção 5.3. Certifique-se de que o gasômetro úmido satisfaz as exigências apresentadas na Seção 7.1.1.1. Verifique o nível da água no gasômetro úmido. Anote o fator de calibração, Y, do gasômetro seco.

7.2.2.2 Calibração dos Orifícios Críticos. Monte a aparelhagem como mostrado na Figura 5-10.

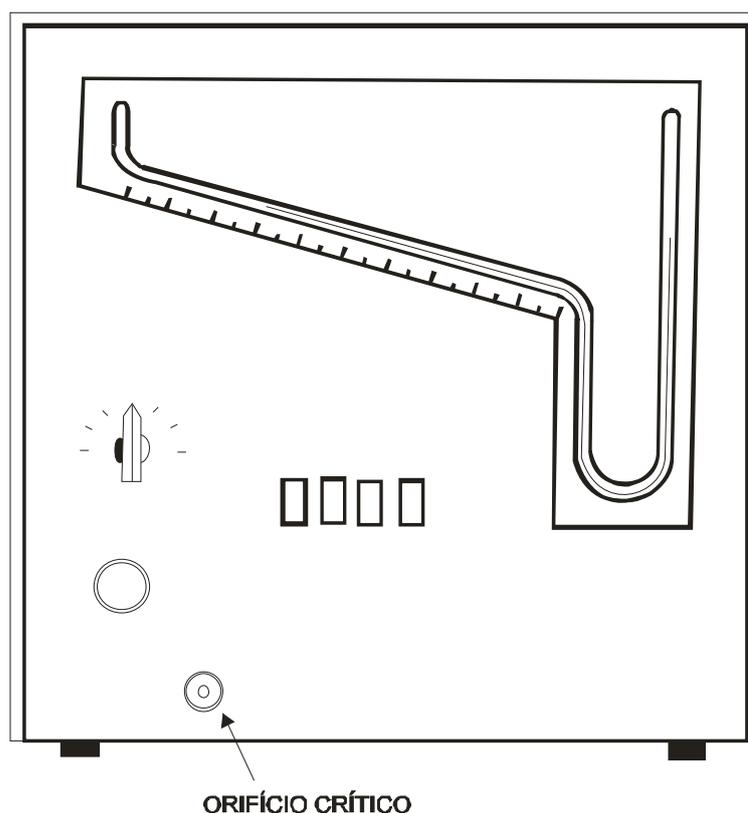



Figura 5.10 Aparelhagem

7.2.2.2.1 Deixe que o equipamento se aqueça por 15 minutos. Este passo é importante para equilibrar as condições de temperatura através do gasômetro seco.

7.2.2.2.2 Verifique a estanqueidade do sistema conforme a Seção 7.2.2.2.1. O nível de vazamento deve ser zero.

7.2.2.2.3 Antes de iniciar a calibração do orifício crítico, determine sua adequabilidade e o vácuo de operação apropriado como segue: Ligue a bomba, abra completamente a válvula de ajuste grosso e regule a válvula de bypass (ajuste fino) até obter uma leitura de vácuo correspondente a cerca de metade da pressão atmosférica. Observe a leitura do manômetro do orifício da caixa de controle, ΔH. Lentamente, aumente a leitura do vácuo até obter uma leitura estável no manômetro do orifício da caixa medidora. Anote o vácuo crítico para cada orifício.

Orifícios que não atinjam um valor crítico não podem ser usados.

7.2.2.2.4 Obtenha a pressão barométrica usando um barômetro conforme descrito na Seção 2.1.9. Anote a pressão barométrica, P_b, em mm Hg.

7.2.2.2.5 Conduza rodadas em duplicata a um vácuo de 25 a 50 mm Hg acima do vácuo crítico. As rodadas devem ser de pelo menos 5 minutos cada. As leituras do gasômetro seco devem ser em incrementos de 0,00283 m^3 ou em incrementos de uma revolução completa do gasômetro. Para orientação, os períodos de tempo não devem diferir em mais de 3,0 segundos (incluindo folga para alterações nas temperaturas do gasômetro seco) para se atingir ± 0,5 % em K'. Anote os dados relacionados na Figura 5.11.

Data:	Identificação do Trem:		
Fator de Calibração do Gasômetro Seco:	Ident. Orifício Crítico:		
		Rodada	
Medidor de gás seco	Unidade	1	2
Leituras no gasômetro:			
• Inicial, V_i	m^3		
• Final, V_f	m^3		
• Diferença, V_m	m^3		
Temperatura no gasômetro:			
• Entrada, t_e	°C		
• Saída, t_s	°C		
• Média, t_m	°C		
Duração da rodada, θ	min		
Leitura no manômetro, ΔH	mm H_2O		
Pressão barométrica, P_b	mm Hg		
Temperatura ambiente, t_a	°C		
Leitura no vacuômetro	mm Hg		
Fator *K'*			
Média dos Fatores *K'*			

Figura 5.11 Folha de dados para determinação do fator K' do orifício crítico

7.2.2.2.6 Calcule K' usando a Equação 5.9.

$$K' = \frac{K_1 \, V_m \, Y \left(P_b + \frac{\Delta H}{13,6} \Delta H \right) \sqrt{T_a}}{P_b \, T_m \, \theta} \qquad \text{Eq. 5-9}$$

onde $K' = Coeficiente\ \ do\ orifício\ crítico, \frac{(m^3)\,(K)^{1/2}}{(mm\,Hg)\,(\min)}$

T_a = Temperatura ambiente absoluta, *K*

Tire a média dos valores de K'. Os valores dos *K'* individuais não devem diferir em mais de ± 0,5% com relação à média.

7.2.3 Usando os Orifícios Críticos como Padrão de Calibração

7.2.3.1 Anote a pressão barométrica.

7.2.3.2 Calibre a caixa de controle de acordo com o procedimento apresentado nas Seções 7.2.2.2.1 e 7.2.2.2.5. Registre os dados relacionados na Figura 5.11.

Data:	Identificação do Trem:		
Ident. Orifício Crítico:	Fator *K'* do Oricício Crítico:		
		Rodada	
Medidor de gasômetro	Unidade	1	2
Leituras no gasômetro:			
• Inicial, V_i	m^3		
• Final, V_f	m^3		
• Diferença, V_g	m^3		
Temperatura no gasômetro:			
• Entrada, t_e	°C		
• Saída, t_s	°C		
• Média, t_g	°C		
Duração da rodada, θ	min		
Leitura no manômetro, ΔH	mm H_2O		
Pressão barométrica, P_b	mm Hg		
Temperatura ambiente, t_a	°C		
Leitura no vacuômetro	mm Hg		
V_{gp}	m^3		
V_{cp}	m^3		
Fator Y do gasômetro seco)			
Média dos Fatores *Y*			

Figura 5.11 Folha de dados para determinação do fator *Y* do gasômetro seco

7.2.3.3 Calcule os volumes padrão de ar passados através do gasômetro seco e dos orifícios críticos, e calcule o fator de calibração, Y, do gasômetro seco, utilizando as equações abaixo:

$$V_m = K_1 \, V_g \, \frac{P_b + \frac{\Delta H}{13,6}}{T_g} \qquad \text{Eq. 5-10}$$

$$V_{cr} = \frac{K' \, P_b \, \theta}{\sqrt{T_a}} \qquad \text{Eq. 5-11}$$

$$Y = \frac{V_{cr}}{V_m} \qquad \text{Eq. 5-12}$$

onde:

V_{cr} = Volume de amostra de gás que passa através do orifício crítico, corrigida para as condições padrão, L;

K_1 = 0,3858 K/mm Hg para o sistema de unidades internacionais.

7.2.3.4 Tire a média dos valores de calibração do gasômetro seco para cada uma das vazões. O fator de calibração, *Y*, a cada vazão não deve diferir em mais que ± 2 % com relação à média.

7.2.3.5 Para determinar a necessidade de recalibração dos orifícios críticos, compare os valores de *Y* do gasômetro seco, obtidos de dois orifícios adjacentes, toda vez que um gasômetro seco é calibrado; por exemplo, quando verificar 13/2,5, use orifícios 12/10,2 e 13/5,1. Se algum orifício crítico resultar num Y de gasômetro seco diferindo de outros em mais que 2 %, recalibre o orifício crítico de acordo com a Seção 7.2.2.2.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Addendum to Specifications for Incinerator testing at Federal Facilities. PHS, NCAPC, Dec. 6, 1967.

2. Martin, Robert M. Construction Details of Isokinetic Source-Sampling Equipment. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC. APTD-0581. April 1971.

3. Rom, Jerome J. Maintenance, Calibration, and Operation of Isokinetic Source Sampling Equipment. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC. APTD-0576. March, 1972.

4. Smith, W. S., R. T. Shigehara, and W. F. Todd. A Method of Interpreting Stacck Sampling Data. Papere Presented at the 63rd Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Sty. Luois, MO, June 14-19, 1970.

5. Smith, W. S., et al. Stack Gas Sampling Improved and Simplified With New Equipment. APCD Paper No. 67-119. 1967.

6. Specifications and Incinerator Testing at Federal Facilities. PHS, NCAPC. 1967.

7. Shihehara, R. T. Adjustments in the EPA Nomograph for Different Pitot Tube Coefficients and Dry Molecular Weights. Stack Sampling News 2:4-11, October, 1974.

8. Vollaro, R. F. A Survey of Commercially Available Instrumentaion for the Measurement of Low-Range Gas velocities. U.S. Environmental Protection Agency, Emission Measument Branch. Research Triangle Park, NC. November, 1976 (unpublished paper).

9. Annual Book of ASTM Standards. Part 26. Gaseous Fuels; Coal and Coke; Atmospheric Analysis. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, PA. 1974. PP. 617-622.

10. Felix, L. G., G. I. Clinard, G. E. Lacey, and J. D. McCian. Inertial cascade Impactor Substrate Media for Flue Gas Sampling. U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, NC 27711, Publication No. EPA-600/7-77-060. June 1977. 83 p.

11. Westlin, P.R. e R. T. Shigehara. Procedure for Calibrating and Using Dry Gas Volume Meters as Calibration Standards. Source Evaluation Society Newsletter. 3(1):17-30. February 1978.

12 Lodge, J.P., J.B. Pate, B.E. Ammons, and G.A. Swanson. The Use of Hypodermic Needles as Critical Orifices in Air Sampling. J. Air Pollution Control Association. 16:197-200. 1966.

ENERGÉTICA IND.E COM. LTDA.
Rua Gravataí, 99 – Rocha
CEP 20975-030 Rio de Janeiro – RJ
CNPJ 29.341.583/0001-04 – IE 82.846.190
Fone: (0xx21) 2501-1998; Fax: (0xx21) 2241-1354
www.energetica.ind.br

CALIBRAÇÃO DO GASÔMETRO POR MEIO DE ORIFÍCIOS CRÍTICOS

MANUAL

ÍNDICE

Responsável:

José Walderley Coêlho Dias

ENERGÉTICA - RIO DE JANEIRO

Data desta versão: 10/04/06
(Obs.: esta versão altera texto de 18/08/98)

1.0 INTRODUÇÃO

Este manual descreve o método de calibração do gasômetro por meio de orifícios críticos previamente calibrados.

O método aplicado a gasômetros utilizados em coletores isocinéticos de poluentes atmosféricos (CIPA), construídos segundo o método 5 da EPA, está descrito formalmente na Seção 7 do 40 CFR Ch I (7-1-90 edition), Pt. 60, App. A, páginas 705 a 709.

O gasômetro de um CIPA tem sido tradicionalmente calibrado contra um medidor de gás úmido (wet test meter). Entretanto, há a alternativa de calibração por meio de orifícios críticos, bastando, para isso, que sejam selecionados, calibrados e usados de maneira adequada, conforme descrito neste manual.

Na calibração de orifícios críticos, é fundamental o uso de um sistema, comumente denominado de Caixa Medidora, contendo, como componente primordial, um medidor de gás seco (gasômetro), seja para calibrar os orifícios críticos, seja para ser calibrado por orifícios críticos previamente calibrados, bem como de uma bomba de vácuo, a mais potente possível.

A Caixa Medidora muito se parece com a unidade de controle do CIPA, podendo, na realidade, ser substituída por esta para a calibração de orifícios críticos ou de gasômetros.

Para um serviço completo, o usuário terá que contar com:

- Um barômetro;
- Um termômetro;
- Um cronômetro;
- Vários orifícios críticos;
- Uma Caixa Medidora (com gasômetro);
- Uma bomba de vácuo.

2.0 ORIFÍCIO CRÍTICO

O procedimento que se segue descreve o uso de agulha hipodérmica ou de tubo capilar de aço inox como orifício crítico.

Num orifício crítico, quando o gás na "vena contracta" alcança a velocidade do som, o quociente P_2/P_1 passa a ser denominado "quociente crítico de pressões" e é dado por:

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)=\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k+1}} \qquad \text{(Eq. 2.1)}$$

onde:

P_2 = pressão a jusante da "vena contracta"
P_1 = pressão a montante da "vena contracta"
k = relação de calores específicos do gás

Como para o ar à pressão atmosférica, k = 1,4, a equação acima se reduz a:

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 0{,}53 \qquad \text{(Eq. 2.2)}$$

A partir desse valor, ainda que se diminua a pressão a jusante, a pressão na “vena contracta” continua sendo P_2, dada pela equação acima. Assim, a vazão se mantém com um valor máximo constante, sendo então chamada de “vazão crítica”.

3.0 SELEÇÃO DOS ORIFÍCIOS CRÍTICOS

Deve-se selecionar cinco orifícios críticos, dimensionados de tal forma a cobrir a faixa de vazões entre 10 e 34 L/min ou de vazões previstas. Dois destes orifícios devem encerrar a faixa de operação prevista.

Será necessário um mínimo de três orifícios para calibrar um gasômetro que satisfaça o Método 5. Os outros dois ficam como sobressalentes, para uso caso se queira uma cobertura mais apropriada das vazões de operação.

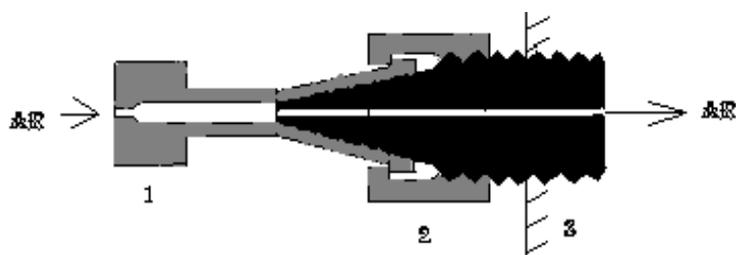
Os orifícios podem ser adaptados para uso num CIPA, simplesmente acoplando-os à fêmea do engate rápido correspondente à entrada de gases na unidade de controle do aparelho. Ver Figura 3.1.

1- Orifício Crítico
2 - Engate Rápido Cônico
3 - Painel da Unidade de Controle do CIPA

Figura 3.1 Croqui de um Orifício Crítico instalado no painel da Unidade de Controle por meio de engate rápido

4.0 CAIXA MEDIDORA

A Caixa Medidora, tanto para calibrar orifícios críticos contra um gasômetro previamente calibrado, como para calibrar gasômetros contra orifícios críticos previamente calibrados, é parecida com a Unidade de Controle do CIPA e contém os seguintes componentes principais montados segundo o croqui da Figura 4.1:

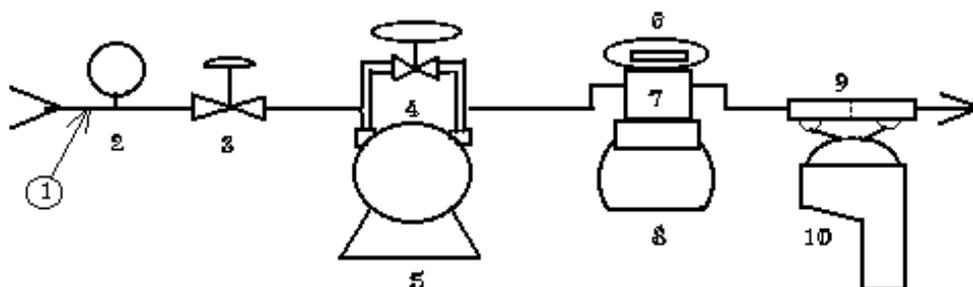
A Caixa Medidora possui, no seu painel, uma entrada para gases, com um pino para engate rápido semelhante ao da Unidade de Controle do CIPA. É neste pino que se engata a fêmea do Orifício Crítico.

1 - Linha de vácuo
2 - Vacuômetro
3- Válvula de ajuste grosso
4 - Válvula de ajuste fino
5 - Bomba com boa vedação
6 - Leitor de temperatura
7 - Termopar do gasômetro
8 - Gasômetro
9 - Placa de orifício calibrado
10 - Manômetro inclinado

Figura 4.1 Esquema da Caixa Medidora

A Caixa Medidora e a bomba são interligadas através de um "umbilical" enfeixando duas mangueiras de passagem de gases e um cabo de força.

No painel da Caixa Medidora só são visíveis o indicador de temperatura, o vacuômetro, o mostrador do gasômetro, as válvulas de ajuste grosso e fino e o manômetro inclinado. Os termopares do gasômetro e a placa de orifício ficam dentro da caixa.

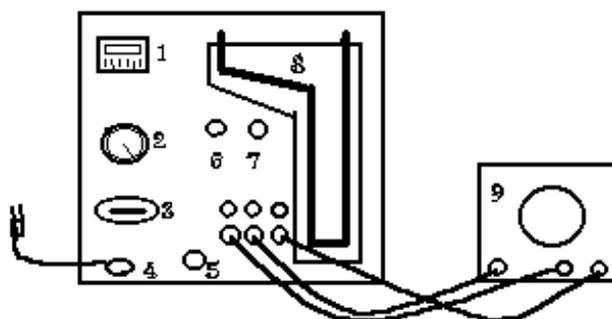
Ver croqui da Caixa Medidora, com a bomba de vácuo, na Figura 4.2.

1 - Indicador de temperatura
2 - Vacuômetro
3 - Gasômetro
4 - Entrada de força
5 - Engate p/ acoplamento do calibrador crítico
6 - Válvula de ajuste grosso
7 - Válvula de ajuste fino
8 - Manômetro inclinado
9 - Bomba de vácuo

Figura 4.2 Painel da Caixa Medidora e a Bomba de Vácuo

5.0 TESTE DE VAZAMENTO DA CAIXA MEDIDORA

Deve-se, antes de usar a Caixa Medidora, verificar se não há vazamento no sistema. Proceder então conforme os passos abaixo:

- Abrir completamente a válvula de ajuste grosso, ao mesmo tempo fechando completamente a válvula de ajuste fino.
- Fechar a entrada.

- Ligar a bomba e verificar se não há vazamento. Considera-se que não há vazamento quando não ocorrer qualquer movimento no mostrador do gasômetro no decorrer de 1 minuto.

Deve-se verificar também se não há vazamento entre a bomba e a placa de orifício. Com a bomba vazando, lê-se um volume menor do que o que está sendo amostrado. Recomenda-se o seguinte procedimento para detectar se há vazamento:

- Fechar a válvula de ajuste grosso.
- Inserir no tubo de saída da placa de orifício uma rolha de borracha com um furo conectado a uma mangueira de borracha.
- Desconectar a mangueira da parte baixa do manômetro e deixar a abertura livre.
- Fechar o espigão a jusante da placa de orifício - o que antes recebia a mangueira da parte baixa do manômetro.
- Soprando através da mangueira de borracha, pressurizar o sistema até atingir 13 a 18 cm de coluna d'água.
- Pinçar a mangueira e observar o manômetro por um minuto.
- Verificar se há perda de pressão no manômetro. Se isso ocorrer, é porque há vazamento na caixa.

Caso haja vazamento na caixa, deve-se verificar se não há juntas gastas, conexões frouxas, o-rings gastos, etc. e efetuar os reparos necessários.

6.0 CALIBRAÇÃO DA CAIXA MEDIDORA

Após a verificação de que não há vazamento na Caixa Medidora, efetua-se a calibração da mesma, com um wet test meter ou com um espirômetro, conforme manda a norma.

Da calibração da Caixa Medidora resulta a determinação do fator Y do gasômetro e do fator $\Delta H@$ da placa de orifício.

7.0 CALIBRAÇÃO DOS ORIFÍCIOS CRÍTICOS

Os orifícios críticos devem ser calibrados na mesma configuração em que são usados, isto é, não deve haver nenhuma obstrução ou conexão na entrada do orifício.

Para calibração dos orifícios, deve-se seguir os passos abaixo:

- Preparar a Caixa Medidora, conectando-a a uma bomba a vácuo.
- Engatar, no pino de engate localizado no painel da Caixa Medidora, o orifício crítico que se quer calibrar.
- Aquecer a caixa por 15 minutos. Isto é importante a fim de equilibrar as condições de temperatura através do gasômetro.
- Checar se não há vazamento no sistema conforme a Seção 5.0.
- Antes de calibrar o orifício, determinar se é de dimensão adequada e se o vácuo com ele é apropriado. Seguir os passos abaixo:
-
  a) Ligar a bomba.

b) Abrir completamente a válvula de ajuste grosso e em seguida girar a válvula de ajuste fino até que o vácuo lido no vacuômetro seja aproximadamente a metade da pressão atmosférica.
c) Observar a depressão ΔH no manômetro inclinado.
d) Lentamente aumentar o vácuo até obter uma leitura estável no manômetro.
e) Registrar o vácuo crítico para cada orifício.
f) Rejeitar orifícios que não atinjam valor crítico.

- Obter a pressão barométrica usando um barômetro. Registrar a pressão barométrica, P_b, em mmHg.
- Realizar rodadas duplas em vácuo de 2,5 a 5,0 cm Hg (1 a 2 pol Hg) acima do vácuo crítico. As rodadas devem ser de pelo menos 5 minutos cada. A indicação do volume no gasômetro deve ser em incrementos de 0,2 L. Como orientação, os tempos não devem diferir em mais de 3,0 segundos (incluindo tempo para mudança nas temperaturas do gasômetro), a fim de se conseguir ± 0,5% em K'. Registrar os dados listados na Figura 7.1.
- Calcular K' usando-se a Equação 7.1.

$$K' = \frac{K_1 V_g Y \left(P_b + \frac{\Delta H}{13{,}6} \right) \sqrt{T_a}}{P_b T_g \theta} \qquad \text{(Eq. 7.1)}$$

onde:

K' = coeficiente do orifício crítico, $\frac{(L)(\sqrt{K})}{(mmHg)(\min)}$

K_1 = 0,3858 $\frac{(K)}{(mmHg)}$

V_g = Volume totalizado no gasômetro (não corrigido), L
Y = Fator do gasômetro (já conhecido)
P_b = Pressão barométrica, mm Hg
ΔH = Leitura no manômetro, mm H_2O
T_a = Temperatura ambiente, K
T_g = Temperatura média no gasômetro, K
θ = Duração da rodada, min

- Tirar a média dos valores de K'. Os valores de cada K' não devem diferençar em mais ± 0,5% com relação à média.
- Calcular a vazão do orifício crítico, Q_{cp}, em condições padrão, usando a Equação 7.2.

$$Q_{cp} = \frac{K' P_b}{\sqrt{T_a}} \qquad \text{(Eq. 7.2)}$$

- Tirar a média de Q_{cp} para as duas rodadas. Obtém-se Q_{cpm}.

CALIBRAÇÃO ORIFÍCIO CRÍTICO CONTRA GASÔMETRO			
ORIFÍCIO CRÍTICO N° *CCP-16*			
GASÔMETRO: *TECNOBRÁS* **NÚMERO:** *C-08/96/28MSGT*		**FATOR Y:** *1,00746*	
PARÂMETROS/VARIÁVEIS	**UNIDADE**	**RODADA**	
		1	**2**
Leituras no gasômetro:			
• **Inicial, V_i**	**L**	*17777*	*17901*
• **Final, V_f**	**L**	*17827*	*17951*
• **Diferença, V_g**	**L**	*50*	*50*
Temperatura no gasômetro:			
• **Entrada, T_e**	**K**	*293*	*294*
• **Saída, T_s**	**K**	*293*	*293*
• **Média, T_g**	**K**	*293*	*293,5*
Duração da rodada, t	**min**	*3,212*	*3,216*
Leitura no manômetro, ΔH	**mm H2O**	*30,0*	*30,0*
Leitura no vacuômetro	**cm Hg**	*52*	*52*
Pressão barométrica, P_b	**mm Hg**	*763,41*	*763,41*
Temperatura ambiente, T_a	**K**	*297,8*	*299,2*
Fator K' (*)		*0,3547*	*0,3545*
Média dos Fatores K'		*0,3546*	
Vazão no Orifício, Q_c (**)	**L/min**	*15,691*	*15,646*
Vazão média, Q_{cm} (**)	**L/min**	*15,669*	

(*) $$K' = \frac{K_1 V_g Y\left(P_b + \frac{\Delta H}{13,6}\right)\sqrt{T_a}}{P_b T_g \theta} \quad \text{em} \quad \frac{(L)(\sqrt{K})}{(mmHg)(\min)}$$

(**) Para condições padrão (P_p = 760 mmHg; T_p = 293,16 K): $$Q_{cp} = \frac{K' P_b}{\sqrt{T_a}} \text{ em L/min}$$

LOCAL: *ENERGÉTICA/RIO*	**DATA**: *03/06/97*
REALIZADA POR: *Angela Regina Trindade*	
SUPERVISIONADA POR: *Walderley Dias*	

FIGURA 7.1 Folha de dados para determinação do Fator K' do orifício crítico (com exemplo)

OBSERVAÇÕES:

- O fator de multiplicação, K_1, de 0,3858 (K)/(mm Hg), é obtido dividindo-se a temperatura nas condições padrão para amostragem em chaminé (20 °C ≡ 293,16 K) pela pressão barométrica nas condições padrão (760 mm Hg). Com a inclusão de K_1, os valores dos volumes que passam no orifício e no gasômetro são automaticamente corrigidos para as condições padrão de 20 °C e 760 mm Hg.

8.0 CALIBRAÇÃO DE GASÔMETROS COM ORIFÍCIOS CRÍTICOS

Seguir os passos abaixo:

- Usar orifícios críticos - no mínimo três - calibrados conforme o procedimento apresentado na Seção 7.0.
- Usar a folha da Figura 8.1 (com exemplo de calibração com três calibradores críticos), para registro dos dados.
- Registrar a pressão barométrica, P_b, e a temperatura ambiente, T_a.
- Calcular, para cada orifício crítico, os volumes, em condições padrão de temperatura e pressão, de ar passados no gasômetro, V_{gp}, e nos orifícios críticos, V_{cpr}, e calcular o fatores de calibração, Y, do gasômetro, usando as equações abaixo: Para cada orifício, fazer duas rodadas.

$$V_{gp} = K_1 V_g \frac{P_b + \frac{\Delta H}{13,6}}{T_g} \qquad \text{(Eq. 8.1)}$$

$$V_{cp} = \frac{K' P_b \theta}{\sqrt{T_a}} \qquad \text{(Eq. 8.2)}$$

$$Y = \frac{V_{cp}}{V_{gp}} \qquad \text{(Eq. 8.3)}$$

onde:

V_{gp} = Volume de gás passado no gasômetro, corrigido para condições padrão, L

$K_1 = 0,3858 \ \frac{(K)}{(mmHg)}$

V_g = Volume totalizado no gasômetro (não corrigido), L

P_b = Pressão barométrica, mm Hg

ΔH = Leitura no manômetro, mm H_2O

T_g = Temperatura média no gasômetro, K

V_{cp} = Volume de gás passado no orifício crítico, corrigido para condições padrão, L

K' = coeficiente do orifício crítico, $\frac{(L)(\sqrt{K})}{(mmHg)(\min)}$

θ = Duração da rodada, min

T_a = Temperatura ambiente, K

Y = Fator do gasômetro (já conhecido)

- Tirar a média dos fatores de calibração Y do gasômetro para cada um dos orifícios críticos. Obtem-se $\overline{Y}$. O fator Y para cada rodada não deve diferençar em mais de ± 2 % da média $\overline{Y}$.
- Finalmente, obter o fator Y_g do gasômetro tirando-se a média dos fatores $\overline{Y}$ para cada orifício.
- Para determinar se é necessário recalibrar um determinado orifício crítico, comparar o fator Y do gasômetro, obtido com este orifício, com os fatores Y do gasômetro, obtidos com orifícios críticos de dimensões adjacentes à dimensão do

orifício que se está checando, toda vez que o gasômetro for calibrado. Se qualquer orifício gerar um fator Y diferente em mais de 2 % dos outros, recalibrar o orifício crítico conforme a Seção 7.0.

CALIBRAÇÃO GASÔMETRO CONTRA CALIBRADOR CRÍTICO						
GASÔMETRO	**MARCA:** *Tecnobras*			**N°** *081022*		
	ORIFÍCIO CRÍTICO		**ORIFÍCIO CRÍTICO**		**ORIFÍCIO CRÍTICO**	
	Ident.: *CPP-08*		**Ident.:** *CPP-16*		**Ident.:** *CPP-23*	
	Vazão: *7,9 L/min*		**Vazão:** *15,87 L/min*		**Vazão:** *22,97 L/min*	
	Fator K': *0,4575 L/(K.min)*		**Fator K':** *0,9192 L/(K.min)*		**Fator K':** *1,3306 L/(K.min)*	
Rodada ⇒	**1**	**2**	**1**	**2**	**1**	**2**
Leitura Gasômetro:						
Inicial V_i (L)	*273*	*328*	*457*	*577*	*152*	*212*
Final V_f (L)	*323*	*378*	*507*	*627*	*202*	*262*
Dif. V_g (L)	*50*	*50*	*50*	*50*	*50*	*50*
Temperatura Gasômetro:						
Entrada T_e (K)	*301*	*301*	*301*	*301*	*300*	*300*
Saída T_s (K)	*301*	*301*	*301*	*301*	*300*	*300*
Média T_g (K)	*301*	*301*	*301*	*301*	*300*	*300*
Tempo Rodada:						
θ (min)	*6,257*	*6,237*	*3,243*	*3,235*	*2,177*	*2,185*
Manômetro:						
ΔH (mm H_2O)	*8,5*	*8,5*	*38*	*38*	*84*	*84*
Vácuo (cm Hg):	*65*	*63*	*59*	*57*	*54*	*52*
Pressão atm:						
P_b (mm Hg)	*771.06*	*771,06*	*771,06*	*771,06*	*771,06*	*771,06*
Temp. amb:						
T_a (K)	*300*	*300*	*300*	*300*	*300*	*300*
Volume Padrão Gasômetro: V_{gr} (L)	*49,8743*	*49,8743*	*50,0145*	*50,0145*	*50,4005*	*50,4005*
Volume Padrão Orifício:						
V_{cr} (L)	*49,5813*	*49,4228*	*51,6318*	*51,5045*	*50,1726*	*50,3570*
Fator Y	*0,994*	*0,991*	*1,032*	*1,030*	*0,995*	*0,999*
Fator médio $\overline{Y}$	$\overline{Y}_{08}$ = *0,993*		$\overline{Y}_{16}$ = *1,031*		$\overline{Y}_{23}$ = *0,997*	
	FATOR Y_g DO GASÔMETRO:			***1,007***		

$$V_{gp} = K_1 V_g \frac{P_b + \frac{\Delta H}{13,6}}{T_g} \qquad V_{cp} = \frac{K' P_b \theta}{\sqrt{T_a}} \qquad \overline{Y} = \frac{V_{cp}}{V_{gp}} \qquad Y_g = \frac{\overline{Y}_{08} + \overline{Y}_{16} + \overline{Y}_{23}}{3}$$

OBS.: O Fator Y_g do gasômetro deve estar dentro da faixa de 0,9600 e 1,0400.

LOCAL:	**DATA:**
REALIZADA POR:	
SUPERVISIONADA POR:	

FIGURA 8.1 Folha de dados para a determinação do fator Y do gasômetro (com exemplo)